



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Desenvolvimento de uma base de dados de patologias para a avaliação da qualidade de pavimentos rodoviários com recurso a GPS, imagem vídeo e SIG

Leonor Graciete de Oliveira Maganinho

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

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

Covilhã, outubro de 2013

Dedico este trabalho
aos meus pais, Ana e Manuel
e aos meus tios Maria e Jorge...

Agradecimentos

A realização deste trabalho foi apenas possível com o apoio e a ajuda prestada, de forma direta e/ou indireta, de várias pessoas, às quais pretendo expressar os meus agradecimentos.

Em primeiro lugar agradeço aos meus orientadores, Professora Doutora Bertha Maria Batista dos Santos e ao Professor Doutor Pedro Gabriel de Faria Lapa Barbosa de Almeida, pela orientação, auxílio, dedicação e disponibilidade que sempre tiveram ao longo de todo o trabalho.

Em seguida quero agradecer a seres fantásticos que me deram a vida, os meus pais, Ana e Manuel, pelo amor e por todos os sacrifícios que fizeram ao longo de todos estes anos. Mesmo longe, não poderiam ter estado mais presentes. Um agradecimento especial aos meus tios, Maria e Jorge, pela paciência, motivação, carinho e todo o apoio que me prestaram, o qual em muito proporcionou a realização desta caminhada. Ao meu irmão, Vítor um obrigado, eu sei que estás contente por mim... Á minha sobrinha Núria, um obrigado pelo carinho, és o orgulho da tia!

Aos colegas de curso e amigos, agradeço o companheirismo que sempre prestaram ao longo de todo o percurso académico. À Sílvia e à Ana Rita, em especial, agradeço os quilómetros percorridos comigo. Aos restantes amigos, igualmente importantes, agradeço todos os momentos de troca de ideias, troca de conhecimentos e de muita diversão que só uma verdadeira amizade é capaz de ter.

Resumo

Ao longo da sua vida, os pavimentos rodoviários são sujeitos a ações que contribuem para uma redução contínua da sua qualidade, traduzindo-se no aparecimento de uma diversidade de degradações estando estas presentes na superfície e/ou na estrutura do pavimento.

Tendo por objetivo aumentar o grau de fiabilidade dos dados obtidos e a rapidez de observação das degradações, assim como a diminuição do custo envolvido nas operações de inspeção visual, o trabalho aqui exposto apresenta as diversas operações envolvidas no:

- Desenvolvimento de uma metodologia de auscultação das degradações de pavimentos rodoviários flexíveis, com recurso a um sistema de registo de imagem vídeo com georreferenciação;
- E no tratamento e inclusão dessa informação numa base de dados de patologias para avaliação da qualidade de pavimentos rodoviários e a sua integração num SIG.

A metodologia de inspeção proposta foi validada numa aplicação a um caso de estudo através da comparação dos resultados obtidos com os provenientes de uma inspeção visual realizada a pé. O tratamento das imagens e dos dados obtidos permitiram concluir que a utilização do sistema desenvolvido tem aplicabilidade para meios urbanos e interurbanos, chegando a resultados muito semelhantes aos obtidos numa inspeção visual a pé.

Entre as vantagens associadas ao sistema é possível destacar a possibilidade de uma identificação, quantificação e localização das degradações mais rigorosa a um custo de instalação e funcionamento reduzido (quando comparado com outros equipamentos comerciais de captação de imagem utilizados para o mesmo efeito).

Palavras-chave

Inspeção de pavimentos rodoviários, Degradações, GPS, Captação de imagem, Base de dados rodoviária, SIG.

Abstract

Throughout the life, road pavements are subjected to actions that contribute to a continuous reduction of their quality, as reflected in the development of a diversity of degradations types. These degradations may be present on the surface and/or structure of the pavements, being the pavement quality dependent on the presence of the same.

Aimed at increasing the degree of reliability of the data obtained, and the rapidity of observation of degradations, as well as the decrease of the cost involved in the operations of visual inspection, this work presents the operations involved in:

- Development of a methodology that allows to observe the deteriorations of flexible road pavements, using a georeferencing system, while recording video image at the same time;
- Also, by handling and including this information in a database of pathologies, with the purpose of evaluating the quality of road pavements and its integration into a GIS (Geographical Information System).

The methodology of inspection suggested was validated through its application in a case study, by comparing the results obtained with those from a visual inspection performed on foot. The image processing and the data obtained, allowed us to conclude that the use of the developed system is possible in urban and rural roads, as very similar results were obtained in the two visual inspections.

The system's highlight, is the possibility to identify, quantify and locate the most severe deteriorations, while at the same time, maintenance and setup costs are kept low (when compared with other image device equipments used for the same purpose).

Keywords

Road pavement inspection, pavement degradations, GPS, Image Capture, Road Database, GIS.

Índice

Agradecimentos	ix
Resumo	xiii
Palavras-chave	xiii
Keywords	xvii
Índice	xxi
Lista de Equações	xxxv
Lista de Acrónimos	xxxix
1. Introdução	43
1.1. Enquadramento do tema	43
1.2. Objetivos e justificação do tema proposto	44
1.3. Organização do documento	45
1.4. Abordagem metodológica	46
2. Pavimentos Rodoviários	47
2.1. Tipos de pavimentos rodoviários e suas características	47
2.1.1. Enquadramento	47
2.1.2. Pavimentos flexíveis	51
2.1.3. Pavimentos rígidos	52
2.1.4. Pavimentos semirrígidos	56
2.2. Observação de Pavimentos Rodoviários	56
2.2.1. Capacidade Estrutural	59
2.2.2. Estado Superficial	62
2.2.3. Regularidade Longitudinal	71
2.2.4. Regularidade Transversal	76
2.2.5. Atrito Transversal	78
2.3. Análise de Custos /Desempenho dos equipamentos que permitem a observação de pavimentos rodoviários	81
3. Sistemas de Informação Geográfica e bases de dados para gestão rodoviária	83
3.1. Definições e Componentes dos SIG	83
3.2. Potencialidades dos SIG como ferramenta de apoio à gestão de pavimentos	85

3.3.	Base de dados rodoviária	89
3.3.1.	Modelos de Bases de Dados	89
3.3.2.	Base de Dados Rodoviários	91
3.3.3.	Base de Dados de Patologias em Pavimentos Rodoviários	93
3.4.	Dados geográficos para SIG de gestão rodoviária	96
4.	Implementação da Base de Dados de Patologias para a Avaliação da Qualidade de Pavimentos Rodoviários com recurso a GPS, imagem vídeo e SIG - Caso de estudo	103
4.1.	Metodologia	103
4.2.	Definição do Catálogo e da Base de Dados de Patologias	105
4.3.	Definição da rede rodoviária	118
4.4.	Levantamento e tratamento de dados	122
4.4.1.	Inspeção visual realizada a pé	124
4.4.2.	Inspeção realizada com base no sistema com recurso a imagem vídeo e GPS (Sistema GVD)	129
4.5.	Discussão de Métodos e Resultados	135
5.	Conclusões	149
6.	Referências Bibliográficas	149
7.	Anexos	157
I.	Representação da degradação do tipo fendilhamento com base nos dados obtidos pela inspeção visual a pé	
II.	Representação da degradação do tipo fendilhamento com base nos dados obtidos pela aplicação do sistema GVD	
III.	Representação da degradação do tipo fendilhamento com base nos dados obtidos pela aplicação dos dois sistemas (inspeção visual a pé + GVD)	
IV.	Representação da degradação do tipo pele de crocodilo com base nos dados obtidos pela inspeção visual a pé	
V.	Representação da degradação do tipo pele de crocodilo com base nos dados obtidos pela aplicação do sistema GVD	
VI.	Representação da degradação do tipo pele de crocodilo com base nos dados obtidos pela aplicação dos dois sistemas (inspeção visual a pé + GVD)	
VII.	Representação da degradação do tipo covas com base nos dados obtidos pela inspeção visual a pé	

- VIII. Representação da degradação do tipo covas com base nos dados obtidos pela aplicação do sistema GVD
- IX. Representação da degradação do tipo covas com base nos dados obtidos pela aplicação dos dois sistemas (inspeção visual a pé + GVD)
- X. Representação da degradação do tipo peladas com base nos dados obtidos pela inspeção visual a pé
- XI. Representação da degradação do tipo peladas com base nos dados obtidos pela aplicação do sistema GVD
- XII. Representação da degradação do tipo peladas com base nos dados obtidos pela aplicação dos dois sistemas (inspeção visual a pé + GVD)
- XIII. Representação da degradação do tipo reparações com base nos dados obtidos pela inspeção visual a pé
- XIV. Representação da degradação do tipo reparações com base nos dados obtidos pela aplicação do sistema GVD
- XV. Representação da degradação do tipo reparações com base nos dados obtidos pela aplicação dos dois sistemas (inspeção visual a pé + GVD)
- XVI. Representação da degradação do tipo rodeiras com base nos dados obtidos pela inspeção visual a pé
- XVII. Representação do Índice de Qualidade com base nos dados obtidos pela inspeção visual a pé
- XVIII. Representação do Índice de Qualidade com base nos dados obtidos pela aplicação do sistema GVD
- XIX. Representação do Índice de Qualidade com base nos dados obtidos pela aplicação dos dois sistemas (inspeção visual a pé + GVD)

Lista de Figuras

Figura 2.1 -	Composição típica dos Pavimentos Rodoviários	48
Figura 2.2 -	Camadas de um pavimento rodoviário flexível	49
Figura 2.3 -	Tipos de juntas dos pavimentos rígidos	54
Figura 2.4 -	Tipos de pavimentos rígidos	55
Figura 2.5 -	Microcomputador com o software VIZIROAD (esquerda) e os teclados para a recolha de dados (direita)	68
Figura 2.6 -	Equipamento ARAN	71
Figura 2.7 -	Equipamento Laser RTS	71
Figura 2.8 -	Caracterização da irregularidade longitudinal (Pereira, et al., 1999)	72
Figura 2.9 -	Equipamento PALAS (consultado em Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 2005)	78
Figura 2.10 -	Exemplo de um Pêndulo Britânico	80
Figura 2.11 -	SCRIM (à esquerda) e esquema do SCRIM (à direita) (consultado em Alves T. S., 2007).	80
Figura 3.1 -	Componentes dos SIG	84
Figura 4.1 -	Fluxograma das operações realizadas para a determinação e representação do IQ na rede em estudo.	105
Figura 4.2 -	Aspeto visual da elaboração das <i>Shapefiles</i> e da criação dos campos de registo no ArcPad.	107
Figura 4.3 -	Localização da rede em estudo	118
Figura 4.4 -	Comparação entre a definição da rede utilizada na inspeção visual a pé e a definição com base nos dados GPS do sistema GVD.	119
Figura 4.5 -	Divisão inicial da rede em estudo.	120
Figura 4.6 -	Definição da divisão final da rede em estudo.	121
Figura 4.7 -	Fluxograma dos passos para a determinação dos valores do IQ e sua representação.	123
Figura 4.8 -	Exemplo da operação de recolha de informação na inspeção visual a pé com recurso a computador portátil com GPS incorporado.	124
Figura 4.9 -	Aspeto do programa de SIG - ArcPad10 e do registo de degradações na base de dados.	125
Figura 4.10 -	Visualização do valor do Índice de Qualidade obtido pela inspeção visual a pé.	129
Figura 4.11 -	Equipamentos inicialmente considerados no sistema com recurso à captação de imagem e GPS, sistema GVD.	130
Figura 4.12 -	Esquema geral da aplicação do sistema GVD num veículo ligeiro.	130

Figura 4.13 -	Imagens provenientes de uma das <i>webcams</i> usadas no teste efetuado no silo-automóvel da Faculdade de Engenharia da UBI.	131
Figura 4.14 -	Pormenores do esquema de aplicação dos equipamentos no veículo todo-o-terreno	132
Figura 4.15 -	Visualização do valor do IQ obtido pela inspeção com o sistema GVD.	135
Figura 4.16 -	Representação dos pontos de controlo no ArcMap 10.	137
Figura 4.17 -	Representação da degradação rodeiras - inspeção visual a pé.	145
Figura 4.18 -	Exemplo da análise das degradações ao partir dos dados recolhidos com o sistema proposto, sistema GVD.	148

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 -	Camadas constituintes de um pavimento e respectivas funções.	49
Tabela 2.2 -	Tipos de pavimentos em função dos materiais e deformabilidade.	50
Tabela 2.3 -	Camadas constituintes de um pavimento flexível e respectivas características.	52
Tabela 2.4 -	Camadas constituintes de um pavimento rígido e respectivas características.	53
Tabela 2.5 -	Camadas constituintes de um pavimento semirrígido e respectivas características.	56
Tabela 2.6 -	Equipamentos mais representativos para medição da capacidade estrutural de pavimentos rodoviários.	60
Tabela 2.7 -	Tipos de degradações em pavimentos flexíveis.	63
Tabela 2.8 -	Tipos de degradações dos pavimentos rígidos.	65
Tabela 2.9 -	Tipos de degradações em pavimentos semirrígidos.	67
Tabela 2.10 -	Sistemas de observação do estado superficial dos pavimentos com recurso a equipamentos fotográficos e de filmagem.	69
Tabela 2.11 -	Tipos de equipamentos de observação da regularidade longitudinal.	74
Tabela 2.12 -	Qualificação dos equipamentos numa relação entre custo e desempenho.	81
Tabela 3.1 -	Vantagens e Desvantagens do formato vetorial e do formato <i>raster</i> .	86
Tabela 3.2 -	Tipos de modelos de base de dados.	90
Tabela 3.3 -	Conjunto de dados considerados em Bases de Dados de Sistemas de Gestão da Conservação de Pavimentos Internacionais.	91
Tabela 3.4 -	Conjunto de dados considerados em Bases de Dados de Sistemas de Gestão da Conservação de Pavimentos Nacionais.	92
Tabela 3.5 -	Dados que se consideram na avaliação da qualidade dos pavimentos em distintos SGP.	94
Tabela 3.6 -	Classificação das vias urbanas a partir do seu nível hierárquico (adaptado de (Santos, 2002))	97
Tabela 3.7 -	Exemplos de métodos de referenciação e respectivas características (Santos, 2002).	100

Tabela 3.8 -	Tipos de Equipamentos que permitem a aplicação dos distintos métodos de referênciação.	102
Tabela 4.1 -	Descrição da degradação do tipo: Fendilhamento.	109
Tabela 4.2 -	Descrição da degradação do tipo: Pele de Crocodilo.	110
Tabela 4.3 -	Descrição da degradação do tipo: Covas (ninhos).	111
Tabela 4.4 -	Descrição da degradação do tipo: Peladas.	112
Tabela 4.5 -	Descrição da degradação do tipo: Deformações Localizadas.	113
Tabela 4.6 -	Descrição da degradação do tipo: Rodeiras.	114
Tabela 4.7 -	Descrição da degradação do tipo: Irregularidade Longitudinal.	115
Tabela 4.8 -	Descrição da degradação do tipo: Reparações.	117
Tabela 4.9 -	Área afetada/valor a adotar para os níveis de gravidade das degradações consideradas.	126
Tabela 4.10 -	Valor a adotar para os níveis de gravidade da Irregularidade Longitudinal.	127
Tabela 4.11 -	Valores do Índice de Qualidade para os trechos segundo os 2 sentidos para a inspeção visual a pé.	128
Tabela 4.12 -	Valores do Índice de Qualidade para os trechos segundo os 2 sentidos para a inspeção com o sistema GVD.	134
Tabela 4.13 -	Comparação entre resultados para a degradação fendilhamento.	140
Tabela 4.14 -	Comparação entre resultados para a degradação pele de crocodilo.	141
Tabela 4.15 -	Comparação entre resultados para a degradação cova.	142
Tabela 4.16 -	Comparação entre resultados para a degradação peladas.	143
Tabela 4.17 -	Comparação entre resultados do IQ pelos dois métodos aplicados para o sentido 1.	146
Tabela 4.18 -	Comparação entre resultados do IQ pelos dois métodos aplicados para o sentido 2.	146
Tabela 4.19 -	Comparação entre resultados para o IQ.	147

Lista de Equações

Eq. 3.1 Equação para a determinação do Índice de Qualidade dos pavimentos rodoviários

96

Lista de Acrónimos

AASHO	<i>American Association of State Highway Officials</i>
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
AGE	Aglomerado de Granulometria Extensa
AIPCR	Comité de Características Superficiais da Associação Mundial de Estradas
APL	Analizador do Perfil Longitudinal
BD	Base de Dados
BDPaq	Base de Dados de Patologias para a avaliação da qualidade dos pavimentos rodoviários
CAL	Coefficiente de atrito longitudinal
CAT	Coefficiente do atrito transversal
EP	Estradas de Portugal, S.A.
ERSI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
FE-UBI	Faculdade de Engenharia da Universidade da Beira Interior
FORMAT	<i>Full Optimised Road Maintenance</i>
GM	<i>General Motors</i>
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IAS	Índice de Aptidão ao Serviço
IQ	Índice de Qualidade dos pavimentos
JAE	Junta Autónoma de Estradas
PSI	<i>Pavement Serviceability Index</i>
RTRRMS	<i>Response-Type Road Roughness Measuring Systems</i>
SCRIM	<i>Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine</i>
SGP	Sistema de Gestão de Pavimentos rodoviários
SGCP	Sistema de Gestão da Conservação de Pavimentos Rodoviários
SGPLx	Sistema de Gestão de Pavimentos rodoviários de Lisboa
SGPOH	Sistema de Gestão de Pavimentos rodoviários de Oliveira do Hospital

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema

Logo após a sua construção, os pavimentos rodoviários encontram-se sujeitos a um conjunto de ações, de entre as quais se destacam as ações provenientes do tráfego e as ações climáticas. Estas ações conduzem em geral ao aparecimento de degradações, que por consequência leva a uma redução progressiva da qualidade dos pavimentos. No sentido de manter esta qualidade, numa perspetiva de manutenção de rotina e preventiva, é necessário proceder a uma observação periódica das características superficiais dos pavimentos, identificando assim os locais com necessidade de intervenção, sustentando a escolha dos tratamentos mais adequados.

Segundo Branco, et al.(2011), a observação dos pavimentos rodoviários envolve a recolha de informação relativa a cinco parâmetros: capacidade estrutural do pavimento, estado superficial do pavimento, irregularidade da superfície, regularidade longitudinal e transversal do pavimento e o atrito transversal. Todos estes parâmetros são importantes para o desenvolvimento de um Sistema de Gestão de Pavimentos rodoviários (SGP), no entanto, o parâmetro preponderante em qualquer SGP é a observação do estado superficial do pavimento.

A observação do estado superficial do pavimento é, de entre os parâmetros considerados numa observação global do pavimento, o de mais difícil caracterização. Esta dificuldade advém da subjetividade associada ao julgamento humano na recolha deste tipo de informação, o que pode comprometer a fiabilidade dos resultados obtidos; mas também advém da rapidez de observação, que pode ser bastante variável em função do processo adotado.

A importância da observação dos pavimentos e da identificação das secções que necessitam de intervenção deve-se ao facto de existirem restrições financeiras significativas, isto em rede rodoviária nacional e em rede rodoviária urbana. Neste sentido, é essencial definir as prioridades de intervenção, de forma a manter a qualidade global dos pavimentos a um nível aceitável face aos escassos recursos financeiros existentes, considerando também os aspetos relacionados com a segurança rodoviária.

As restrições financeiras limitam também a obtenção das informações relativas ao estado do pavimento, isto porque, a obtenção da informação é uma tarefa onerosa sendo necessário por vezes a utilização de equipamentos de custo elevado que devido às restrições financeiras existentes podem não ser acessíveis. Neste contexto, torna-se essencial desenvolver soluções de recolha de informação menos onerosas, mais rápidas e de investimento inicial de aquisição e manutenção reduzido sem que seja comprometida a qualidade da informação obtida.

1.2. Objetivos e justificação do tema proposto

Para o correto funcionamento dos SGP é essencial que a informação que a base de dados possui seja de qualidade e atualizada, neste sentido têm-se desenvolvido mecanismos de observação mais rápidos, simples e fiáveis.

Tendo por objetivo aumentar o grau de fiabilidade dos dados obtidos e a rapidez de observação, assim como a diminuição do custo envolvido nas operações de inspeção, pretende-se com o trabalho aqui proposto desenvolver uma metodologia de auscultação das degradações de pavimentos rodoviários flexíveis com recurso a um sistema de aquisição de imagem vídeo georreferenciada, denominado por sistema GVD. O tratamento e a utilização da informação obtida serão úteis no desenvolvimento de uma base de dados de patologias para a avaliação da qualidade de pavimentos rodoviários integrada num Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Com o fim de validar a metodologia e o sistema GVD, pretende-se ainda desenvolver um caso de aplicação a uma rede rodoviária (incluindo a determinação de um Índice de Qualidade dos pavimentos (IQ) com base nos dados adquiridos), assim como comparar os resultados obtidos com os conseguidos numa campanha de inspeção visual a pé efetuada com computador portátil com um Sistema de Posicionamento Global (GPS) incorporado e um programa de armazenamento de dado tendo como suporte os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), onde toda a informação é armazenada. Estas operações permitirão corrigir problemas de aplicação do sistema GVD e identificar as principais vantagens do método face às metodologias normalmente empregues.

O recurso à imagem vídeo georreferenciada do pavimento, do sistema GVD em análise permitirá clarificar a subjetividade presente nas operações de observação, já que é possível visualizar repetidamente a informação de forma a identificar e quantificar as degradações presentes no pavimento no momento da inspeção. A aplicação da georreferenciação em tempo real, com recurso a um GPS, permitirá a obtenção de dados espaciais de localização da rede e das patologias presentes nos pavimentos (independentes das possíveis alterações no meio envolvente).

Com o auxílio dos SIG pretende-se desenvolver um sistema onde a informação sobre a rede e o estado dos seus pavimentos possa ser facilmente organizada e atualizada, de forma a simplificar e melhorar o trabalho de gestão das entidades envolvidas na gestão rodoviária.

A concretização dos objetivos propostos permitirá obter análises do estado dos pavimentos mais corretas, fiáveis e económicas, conduzindo a uma melhor e mais sustentada gestão das redes rodoviárias.

1.3. Organização do documento

O presente documento está dividido em cinco capítulos, sendo apresentado neste primeiro capítulo o tema do trabalho, a apresentação dos objetivos a atingir com o seu desenvolvimento, tal como uma breve descrição da organização do mesmo e da metodologia aplicada.

No segundo capítulo apresenta-se uma descrição sobre os pavimentos rodoviários, referindo os tipos de pavimentos rodoviários existentes e as suas características, os parâmetros a observar e equipamentos usados para esse efeito, assim como uma breve referência à relação custo/desempenho para alguns desses equipamentos.

O terceiro capítulo debruça-se sobre a aplicação dos sistemas de informação geográfica (SIG) e respetivas bases de dados na gestão rodoviária. Neste capítulo apresenta-se a definição e as componentes principais dos SIG, assim como as potencialidades de aplicação destes sistemas como ferramentas de apoio à gestão de pavimentos rodoviários. Sendo a base de dados uma componente essencial deste tipo de sistemas, o capítulo apresenta também os modelos de bases de dados mais comuns, os parâmetros a considerar na sua construção e os critérios aplicados para a definição da mesma, tendo sempre presente o âmbito de aplicação a que se destinam. São ainda apresentados os tipos de métodos de referenciação que podem ser aplicados para a definição das redes rodoviárias, tal como, no registo das respetivas patologias.

O quarto capítulo descreve detalhadamente o caso prático em estudo, apresentando a forma como foi estruturada a base de dados e como foi efetuada a aquisição e o tratamento dos dados para a avaliação da qualidade dos pavimentos. Neste capítulo apresenta-se também o catálogo de degradações desenvolvido para apoio à operação de inspeção dos pavimentos, documento indispensável para a realização do caso prático. Na aquisição e tratamento dos dados são descritas as operações efetuadas nas duas inspeções visuais realizadas (a pé e com sistema GVD), comparando os resultados obtidos com vista à identificação das vantagens e desvantagens das duas abordagens. No final são apresentadas algumas sugestões de alterações para o sistema proposto, por forma a contornar algumas das dificuldades e limitações identificadas.

Por último, o quinto capítulo apresenta as principais conclusões retiradas do trabalho desenvolvido e aponta para um conjunto de aspetos a desenvolver no futuro.

1.4. Abordagem metodológica

Com o objetivo de elaborar uma base de dados de patologias para a determinação da qualidade dos pavimentos rodoviários com recurso a GPS, imagem vídeo e SIG, o presente trabalho foi desenvolvido com base na seguinte abordagem metodológica:

- Estudo dos tipos de pavimentos e dos parâmetros de estado a observar para avaliação da sua qualidade;
- Definição dos parâmetros de estado a observar e a incorporar numa base de dados rodoviária em função da formulação a adotar para avaliação da qualidade dos pavimentos;
- Estudo dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e das suas componentes;
- Estudo da elaboração de bases de dados e as suas aplicações em gestão rodoviária;
- Elaboração do Catálogo de Degradações para pavimentos rodoviários flexíveis;
- Elaboração da base de dados de Patologias;
- Preenchimento da base de dados, em tempo real, com informação recolhida na inspeção visual realizada a pé;
- Tratamento da informação e determinação do Índice de Qualidade dos Pavimentos (IQ) com base na informação recolhida no ponto anterior;
- Desenvolvimento e montagem do sistema de inspeção das degradações com recurso a GPS e à captação de imagem (sistema GVD);
- Aplicação do sistema numa campanha de levantamento de imagens para inspeção dos pavimentos;
- Tratamento da informação recolhida pelo sistema GVD para quantificação das degradações presentes no pavimento;
- Determinação do IQ com base nos dados determinados;
- Comparações dos resultados obtidos nas duas abordagens de inspeção para validação de resultados, validação do sistema proposto, sistema GVD e identificação de aspetos a melhorar no mesmo.

2. Pavimentos Rodoviários

2.1. Tipos de pavimentos rodoviários e suas características

2.1.1. Enquadramento

O pavimento rodoviário tem como principal função assegurar uma superfície de rolamento que permita a circulação dos veículos com comodidade e segurança, perante as ações de tráfego e as condições climáticas a que se encontra sujeito ao longo da sua vida útil, geralmente compreendida entre os 20 a 30 anos.

Segundo o Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional (JAE, 1995), o dimensionamento correto dos pavimentos, em relação aos materiais e aos processos construtivos subjacentes, visam satisfazer os seguintes requisitos:

- oferecer aos utentes um nível de serviço adequado para que a circulação se faça em condições de segurança, conforto e economia;
- corresponder às exigências das diferentes classes de tráfego e taxas de crescimento expectáveis;
- garantir condições adequadas de fundação para os pavimentos, permitindo, desta forma, que a sua construção se faça nas melhores condições, e que, após entrada do pavimento em serviço, se reduza a ocorrência de deficiências e a necessidade de efetuar trabalhos de conservação dispendiosos;
- melhorar a qualidade dos pavimentos a construir, atuando, designadamente, nas condições de execução das obras e na especificação de materiais e processos construtivos, que tenham em conta os equipamentos atualmente disponíveis;
- sistematizar, tanto quando possível, as estruturas de pavimentos dos vários tipos que têm vindo a ser adotadas na rede nacional;
- permitir que a Junta Autónoma de Estradas (atual Estradas de Portugal, S.A.) disponha de elementos que facilitem o planeamento, a construção, a avaliação do comportamento, a conservação e a beneficiação dessas infraestruturas.

Desta forma, é necessário ter em consideração, para as soluções de pavimentação vários aspetos de ordem técnico-económica, designadamente as condições geotécnicas e climáticas, os materiais disponíveis, prazos de execução e as exigências futuras a que os pavimentos estarão sujeitos.

Os fatores fundamentais para a determinação da estrutura do pavimento são quatro, sendo eles:

- o tráfego;
- as condições climáticas;
- as condições de fundação, que abrangem o conhecimento da classe do terreno de fundação, classes de fundação, materiais para a camada de leito de pavimento e constituição da plataforma;
- e os materiais de pavimentação.

Os pavimentos rodoviários apresentam uma qualidade inicial, que após a sua construção, ao serem submetidos as diversas ações, os leva a uma redução progressiva de qualidade, no entanto, esta pode ser subdividida em dois tipos, qualidade funcional e qualidade estrutural. A qualidade funcional refere-se essencialmente às exigências dos utentes, conforto e segurança na circulação; a qualidade estrutural refere-se à capacidade do pavimento para suportar as cargas dos veículos sem sofrer alterações, isto é, à capacidade que o pavimento oferece para absorver as cargas a que se encontra sujeito.

O pavimento rodoviário é considerado no que respeita à sua constituição um sistema multiestratificado, formado por camadas de espessura finita, dispostas sobre uma fundação formada pelo terreno natural. Sobre a fundação é possível distinguir duas componentes principais dos pavimentos: o conjunto de camadas ligadas, constituídas por materiais granulares estabilizados com ligantes, e o conjunto de camadas granulares, constituídas por materiais inertes, britados e naturais, não aglutinados, presentes essencialmente na parte inferior do pavimento. As camadas consideradas camadas ligadas apresentam-se como já referido na parte superior do mesmo, isto é, na camada de desgaste e na camada de base; para as camadas granulares, temos a camada de sub-base, como se apresenta na figura 2.1 (Branco, et al., 2011). É importante referir que as camadas ligadas, devido à coesão existente, são capazes de suportar todos os tipos de esforços (compressão, tração e corte); das camadas não ligadas, onde a resistência depende do atrito interno, suportam essencialmente os esforços de compressão e de corte.

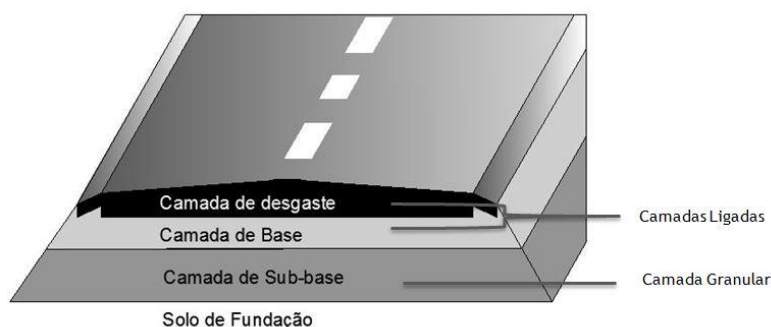


Figura 2. 1- Composição típica dos Pavimentos Rodoviários

As camadas presentes na constituição do pavimento desempenham distintas funções, a camada de desgaste ou camada superficial tem como principal função assegurar o conforto e segurança na circulação, impermeabilizando também o pavimento de forma a evitar a entrada de água exterior às camadas inferiores e ao solo de fundação. As camadas que constituem o corpo do pavimento, camada de base e camada de sub-base, são as responsáveis pela capacidade de suporte do pavimento quando sujeito às cargas do tráfego.

Neste sentido, as camadas que constituem o pavimento são sujeitas a esforços decrescentes, sendo desta forma as mesmas dispostas, com qualidade e resistência igualmente decrescente, como tal cada camada tem a função de assegurar o apoio à realização da camada sobrejacente (Figura 2.2). Na Tabela 2.1 apresentam-se as funções de cada camada.

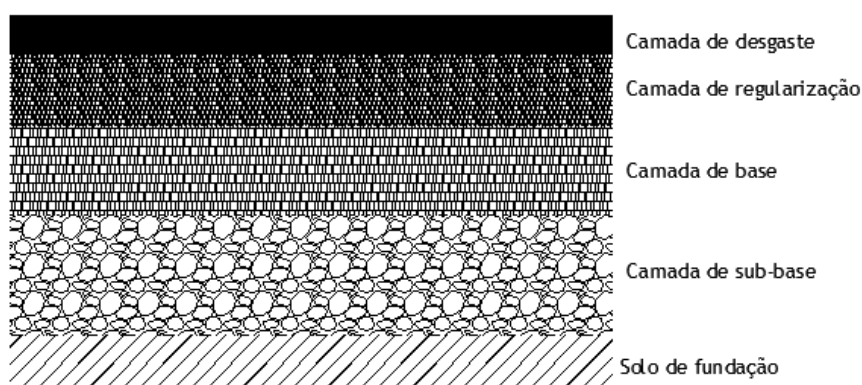



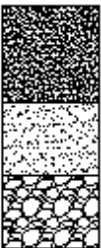
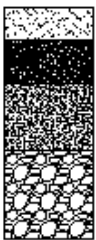
Figura 2. 2 - Camadas de um pavimento rodoviário flexível.

Tabela 2.1 - Camadas constituintes de um pavimento e respetivas funções.

Camadas	Funções
Camada de desgaste	- suporta, redistribui e transfere as tensões induzidas para as camadas inferiores; - apresenta uma superfície regular, livre e adequada à circulação dos veículos em conforto de forma económica e segura.
Camada de regularização	- camada que redistribui e transfere para as camadas inferiores as tensões provenientes da camada superior, suportando assim a camada de desgaste; - superfície regular de forma a facilitar uma correta execução da camada de desgaste.
Camada de base	- camada que suporta as tensões induzidas das camadas superiores, assegurando a distribuição das tensões de forma a não mobilizar excessivamente as características do solo de fundação.
Camada de sub-base	- suporta, redistribui e transfere as tensões transmitidas da camada de base para a fundação;

Existem dois critérios de classificação dos pavimentos rodoviários, estes baseiam-se no tipo de materiais empregues e na deformabilidade que o conjunto apresenta. Desta forma e segundo estes critérios é possível distinguir: pavimentos flexíveis, rígidos e semirrígidos. Na Tabela 2.2 são apresentadas as características em termos de materiais e deformabilidade que diferenciam os pavimentos.

Tabela 2.2 - Tipos de pavimentos em função dos materiais e deformabilidade.

Tipos de pavimentos		Materiais (ligantes)	Deformabilidade
Flexível	 <p>Misturas Betuminosas AGE</p>	Hidrocarbonados e granulares	Elevada
Rígido	 <p>Misturas Hidráulicas AGE</p>	Hidráulicos e granulares	Muito reduzida
Semirrígido	 <p>Misturas Betuminosas Base hidráulica AGE</p>	Hidrocarbonados, hidráulicos e granulares	Reduzida

A atuação dos esforços provenientes do tráfego e das condições climáticas a que os pavimentos se encontram sujeitos designa-se por “*Principio da Cadeia de Consequências*”, isto porque, a actuação destes esforços leva a um processo continuo de afetação das propriedades resistentes dos materiais. Este processo corresponde à evolução das degradações, aparentes ou não, a que o pavimento é submetido ao longo do tempo, alterando deste modo as características primárias dos materiais. O processo de degradação dos pavimentos depende de dois grupos de fatores, os fatores passivos e os fatores activos, os mesmo correspondem respetivamente, às características do pavimento construído e às ações do tráfego e do clima a que os mesmos se encontram sujeitos.

A ocorrência de degradações e a diversidade de causas para o aparecimento das mesmas impõe a necessidade de recorrer a intervenções de forma a manter uma qualidade aceitável

do pavimento ao longo da sua vida. As intervenções podem ser de dois tipos, conservações correntes e conservações periódicas. A conservação corrente tem como intenção manter a qualidade inicial do pavimento, intervindo apenas na camada de desgaste, influenciando como tal a qualidade funcional do pavimento, embora por vezes possa influenciar significativamente a evolução da qualidade estrutural, pois limita a possibilidade da entrada de água, impermeabilizando a camada de desgaste. A conservação periódica baseia-se na realização de um determinado trabalho considerado na programação da fase de exploração do pavimento, estes incluem trabalhos com aplicação de uma ou mais camadas de misturas betuminosas, alterando assim significativamente a capacidade de suporte do pavimento e as características superficiais do mesmo (Branco, et al., 2011).

2.1.2. Pavimentos flexíveis

Nos pavimentos flexíveis o seu modo de funcionamento é dependente das características dos materiais de cada camada e das condições de interface das mesmas (ver Tabela 2.3). Em geral procura-se que as camadas betuminosas se encontrem coladas, o que se consegue a partir de uma rega de colagem entre as mesmas, fazendo com que as camadas se encontrem submetidas a um estado de tensão, que no plano vertical evolui de uma tensão de compressão máxima na face superior da camada de desgaste para um valor máximo da tensão de tração na face inferior da última camada ligada. No entanto, pode ocorrer que as camadas betuminosas não se encontrem coladas, fazendo com que o comportamento esperado não ocorra, o que pode levar a uma evolução acelerada das degradações do pavimento. Estes casos fazem com que as tensões máximas de tração instaladas na face inferior da última camada possam ser superiores às admissíveis em projeto, podendo também estar a camada de desgaste submetida a esforços de tração para os quais não foi concebida.

Os esforços que ocorrem nas diferentes camadas levam em geral a uma evolução típica dos pavimentos flexíveis, correspondentes a dois estados últimos de ruína: o fendilhamento das camadas betuminosas e a deformação permanente das camadas em geral. A desagregação dos materiais da parte superficial da camada de desgaste também é esperada na evolução típica deste tipo de pavimentos.

Tabela 2.3 - Camadas constituintes de um pavimento flexível e respectivas características.

Camadas	Características
Camada de desgaste	<ul style="list-style-type: none"> - constituída por material betuminoso com agregados de alta resistência; - pode apresentar betumes modificados com a utilização de polímeros, beneficiando assim as características de adesão e de resistência global do pavimento; - apresenta características impermeabilizantes; - apresenta rugosidade compatível com a mobilização de atrito; - espessura da camada variável entre os 4 e os 6 centímetros.
Camada de regularização	<ul style="list-style-type: none"> - constituída por misturas betuminosas à semelhança da camada de desgaste mas com materiais mais pobres a nível de betume e agregados (macadame betuminoso); - espessura da camada variável entre os 5 e os 12 centímetros.
Camada de base	<ul style="list-style-type: none"> - constituída por agregado britado de granulometria extensa, produzido em pedra artificialmente conhecido por “ tout-venant”, sendo por vezes constituída por materiais betuminosos de fraca qualidade; - espessura da camada variável entre os 15 e os 30 centímetros (conforme o material que é constituída)
Camada de sub-base	<ul style="list-style-type: none"> - constituída normalmente por material granular do tipo tout-venant ou por agregado recomposto em central, atualmente existe a prática de utilização de solos tratados principalmente com cimento, para aumentar significativamente as características mecânicas, tendo sempre em consideração que as mesmas têm que ser menos resistentes que a camada subjacente; - pode apresentar características drenantes de forma a obter uma permeabilidade adequada para se opor à estagnação da água, de forma a evitar as águas ascensionais ou águas capilares; - espessura da camada variável entre os 15 e os 20 centímetros.

2.1.3. Pavimentos rígidos

Os pavimentos rígidos são constituídos por uma laje de betão de cimento, designada por laje de betão, sobreposta sobre uma camada de sub-base constituída por material granular, por vezes estabilizado com ligante hidráulico (betão pobre, solo cimento), conforme é apresentado na Tabela 2.4. No caso dos pavimentos rígidos a laje de betão apresenta as mesmas funções das camadas de desgaste e de base, quando comparado com os pavimentos flexíveis. A sub-base neste tipo de pavimentos não apresenta uma função estrutural

preponderante, esta contribui para oferecer uma base regular para a laje de betão, facilitando assim todo o processo construtivo, sendo também importante que a mesma seja resistente à erosão, para que sob a ação do tráfego da obra e futuramente em serviço não ocorra o descalçamento da laje (Branco, et al., 2011).

Tabela 2.4 - Camadas constituintes de um pavimento rígido e respectivas características.

Camadas	Características
Camada de betão de cimento	<ul style="list-style-type: none"> - camada constituída por materiais granulares estabilizados com ligantes hidráulicos, formando uma laje de betão de cimento, com uma superfície regular compactada por vibração; - espessura da camada variável entre os 20 e os 25 centímetros.
Camada de sub-base	<ul style="list-style-type: none"> - camada constituída por material granular ou por material granular estabilizado com ligante hidráulico (betão pobre); - camada regular de forma a permitir a correta execução da camada superior, apresentando condições de drenagem; - espessura da camada variável entre os 15 e os 20 centímetros.

Este tipo de pavimentos possui uma elevada resistência, isto porque o betão de cimento possui uma elevada resistência à flexão, não sofrendo deste modo deformações acentuadas quando sujeito a severas condições, como por exemplo:

- tráfego pesado;
- tráfego intenso e lento;
- temperaturas elevadas.

A laje de betão que constitui este tipo de pavimentos apresenta retração à medida que ocorre a presa e o endurecimento da mesma, provocando desta forma uma contrariedade de esforços na interface desta camada com a camada inferior. Nesta fase de presa e endurecimento, pode ocorrer fissuração da laje de betão, isto porque o betão presente na laje é ainda jovem e pode não oferecer a resistência suficiente. De forma a contrariar o aparecimento destas fendas realizam-se juntas, intervaladas de poucos metros, dividindo assim a laje em painéis em que os esforços de tração são reduzidos. As juntas permitem movimentos de dilatação e retração das lajes derivados das variações de temperatura, isto quando o pavimento já se encontra em serviço (Branco, et al., 2011).

Nos pavimentos rígidos podem-se distinguir cinco categorias diferentes (Figura 2.4), tendo em consideração a forma como os mesmos controlam o fendilhamento por retração, sendo eles:

1. Pavimentos de betão não armado com juntas transversais e longitudinais, com ou sem barras de transferência de cargas. As suas características são:

- formados por betão vibrado;
- dispõem de juntas transversais de contração e por razões construtivas, de juntas longitudinais;
- apresentam-se em painéis ou em lajes retangulares próximas do formato quadrangular;
- nas juntas longitudinais colocam-se normalmente barras de ligação construtiva (varões de aço nervurado), de forma a garantir a união das duas lajes contíguas;
- nas juntas transversais formam-se pequenos sulcos, onde devido à retração do betão irão aparecer as fendas, isto porque a seção resistente é enfraquecida;
- para melhorar a transmissão de cargas entre as lajes inserem-se passadores (barras lisas de aço) aderentes ao betão numa laje e não aderentes na outra, para que se permita os movimentos relativos das lajes.

2. Pavimentos de betão armado com juntas transversais e longitudinais, com ou sem barras de transferência de cargas. As suas características são:

- apresentam as mesmas características que os pavimentos de betão não armado com a diferença que as juntas de contração se encontram mais afastadas, isto porque a ligeira armadura que este tipo de pavimentos incluem absorve os esforços de tração derivados da retração.

Na figura 2.3 são apresentados exemplos de juntas transversais e longitudinais para lajes de betão não armado e lajes de betão armado.

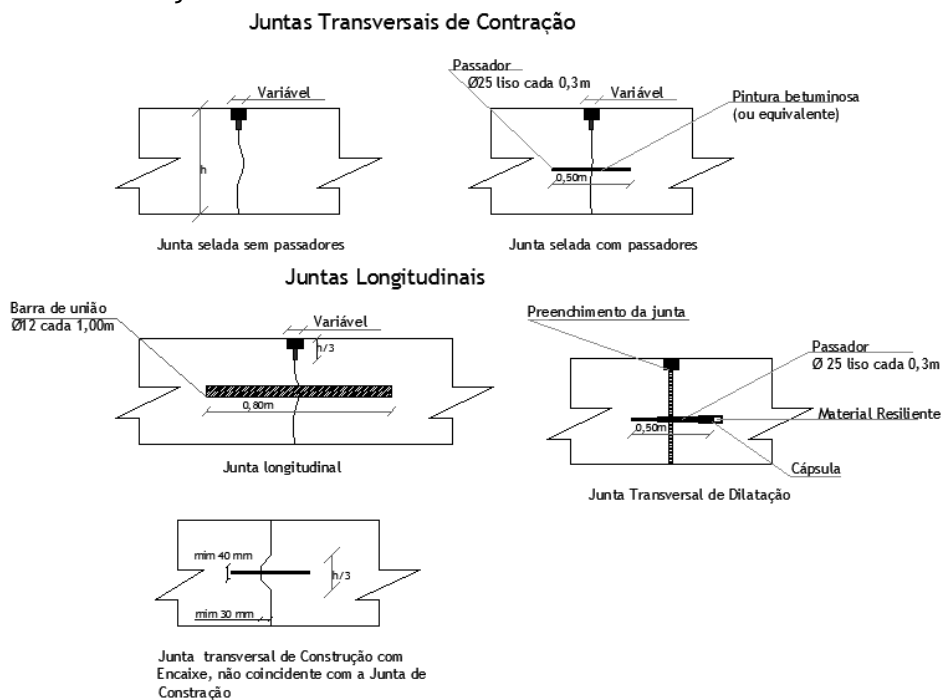


Figura 2.3 - Tipos de juntas dos pavimentos rígidos

3. Pavimentos de betão armado contínuo (B.A.C.). As suas características são:

- pavimento que apresenta armadura contínua, colocada no centro da laje;
- apresentam fendas de retração, com abertura inferior a 0,5 milímetros distanciadas normalmente de 1 a 3 metros, no entanto, as mesmas são impercetíveis para o utente e não se deterioram sob a ação do tráfego, não colocando em perigo a capacidade estrutural do pavimento;
- apresentam um elevado custo inicial, no entanto o mesmo é compensado com o facto da sua conservação ter um custo quase nulo;
- a aplicação deste tipo de pavimento rígido é justificada em casos de tráfego muito intenso.

4. Pavimentos de betão pré-esforçado. As suas características são:

- pavimento que apresenta uma laje de comprimento na ordem dos 120 metros, onde a espessura da mesma pode ser reduzida até cerca de 50% em comparação a um pavimento rígido não armado;
- tipo de pavimento aplicado em pavimentos aeroportuários devido ao facto da geometria ser favorável à aplicação do pré-esforço.

5. Pavimentos formados por elementos pré-fabricados. As suas características são:

- pavimentos que apresentam uma camada de desgaste formada por elementos pré-fabricados, apresentando-se como blocos retangulares de betão, ou placas de betão armado que possuem um encaixe;
- não se encontra aplicação deste tipo de pavimento em estradas, dadas as exigências do utente quando à qualidade de circulação, em particular a velocidade elevadas.

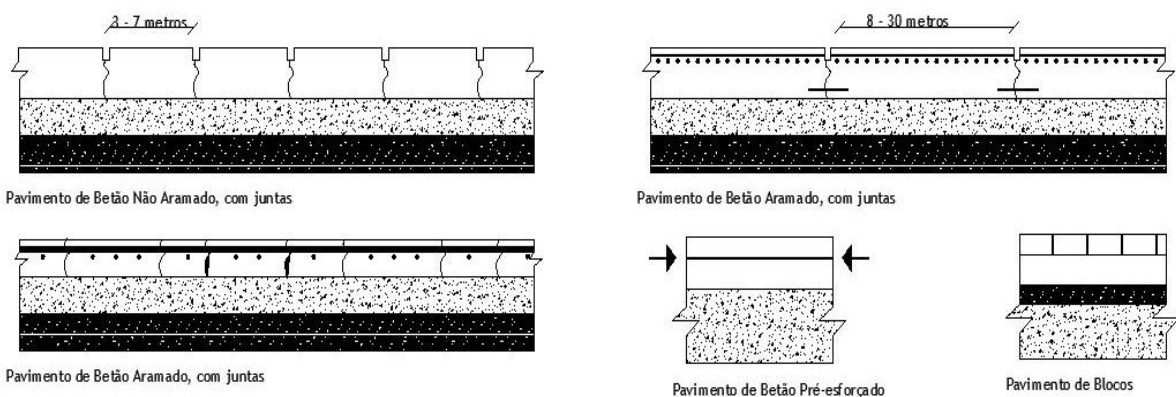


Figura 2.4 - Tipos de pavimentos rígidos

2.1.4. Pavimentos semirrígidos

Os pavimentos semirrígidos apresentam uma constituição particular, conforme consta no Tabela 2.5. As camadas betuminosas superiores, que correspondem às camadas de desgaste e camada de regularização, têm uma constituição idêntica à dos pavimentos flexíveis, sendo a camada de base deste tipo de pavimentos, rígida, o que os diferencia dos restantes tipos. A camada de sub-base é normalmente constituída por material granular estabilizado mecanicamente (material de granulometria extensa).

Tabela 2.5 - Camadas constituintes de um pavimento semirrígido e respetivas características.

Camadas	Características
Camada de desgaste	- apresenta características semelhantes à camada de desgaste do pavimento do tipo flexível (ver Tabela 2.3).
Camada de regularização	- apresenta características semelhantes à camada de regularização do pavimento do tipo flexível (ver Tabela 2.3).
Camada de base	- constituída por material granular de granulometria extensa, estabilizado mecanicamente com ligante hidráulico; - espessura da camada variável entre os 15 e os 30 centímetros.
Camada de sub-base	- constituída por material granular do tipo tout-venant ou com recomposição em central; - espessura da camada de aproximadamente 15 centímetros.

É importante referir que na camada de base deste tipo de pavimentos pode ocorrer fissuração, tal como nos pavimentos rígidos, no entanto, para este tipo de pavimentos torna-se bastante prejudicial este fenómeno, isto porque altera o seu correto funcionamento. A presença de fissuras neste tipo de pavimentos torna a estrutura descontínua, a inexistência de armadura facilita a propagação das fendas podendo levar à rotura do pavimento. Neste tipo de pavimentos, também pode ocorrer fissuração por fadiga, designado por fendilhamento por fadiga, este ocorre ao longo da vida útil do pavimento. A aplicação de geotêxteis impregnados de betume são uma opção para retardar a propagação das fendas até às camadas betuminosas subjacentes à camada de base, pois com a passagem cíclica dos rodados as fendas tendem a propagar-se.

2.2. Observação de Pavimentos Rodoviários

A observação de pavimentos rodoviários é uma atividade essencial para a manutenção de qualquer base de dados (BD) de um sistema de gestão de pavimentos rodoviários (SGP). Para que o SGP seja eficaz é necessário que os dados provenientes da observação permitam estabelecer uma representação do comportamento da rede rodoviária em cada face da sua

vida. A informação sobre o estado da superfície e da estrutura dos pavimentos são um requisito essencial para o desenvolvimento de estratégias de conservação para as diferentes categorias de redes rodoviárias.

A observação dos pavimentos pode ser realizada ao nível da rede, com base numa observação periódica de grandes extensões da rede quantificando apenas as degradações mais relevantes, ou ao nível do projeto, com uma observação de todas as degradações visíveis à superfície do pavimento com vista a uma classificação suficientemente rigorosa de cada degradação observada.

A observação dos pavimentos ao longo da sua fase de exploração é essencial para o controlo da qualidade dos mesmos, no entanto, é também importante existir uma observação nas fases de construção e de reabilitação, de forma a obter um conhecimento da qualidade do trabalho realizado.

A avaliação dos pavimentos tem como objetivos fundamentais um conhecimento de vários aspetos, tais como:

- verificação da conformidade das características do pavimento com as especificações existentes nos respetivos cadernos de encargos;
- permitir a programação das ações de conservação, fornecendo dados para a melhoria das técnicas de construção e manutenção;
- verificação e aperfeiçoamento dos métodos de dimensionamento;
- fornecimento de dados para o desenvolvimento de modelos de previsão do comportamento dos pavimentos.

O conhecimento da qualidade residual do pavimento é o que se pretende obter com o conjunto de atividades que permitem avaliar a qualidade dos pavimentos rodoviários, num determinado instante e quando o mesmo se encontra em serviço (Pereira, et al., 1999).

A definição da qualidade dos pavimentos depende da interação existente entre o estado do pavimento, a capacidade estrutural do pavimento e o utente da estrada, a definição da qualidade dos pavimentos será apresentada no seguinte capítulo. Este processo de definição da qualidade compreende então duas fases fundamentais, uma primeira fase de observação dos pavimentos por auscultação, e uma segunda fase de tratamento dos dados obtidos de forma a produzir informação para posterior utilização em SGP. A fase mais importante para a definição da qualidade é a de observação, visto que esta permite a partir de uma recolha periódica de um conjunto de parâmetros relacionados com o estado do pavimento a determinação da sua qualidade (Branco, et al., 2011). Para a observação dos diferentes parâmetros que caracterizam o estado dos pavimentos é necessário definir os equipamentos adequados e as respetivas metodologias de observação.

A avaliação da qualidade global dos pavimentos compreende uma avaliação ao nível estrutural e ao nível funcional, que representam respetivamente, o nível de desempenho mecânico do pavimento e a qualidade do pavimento segundo as exigências dos utentes das estradas, quanto ao conforto e segurança de circulação. O conhecimento destes dois níveis baseia-se numa recolha de um conjunto de parâmetros de estado que caracterizam o estado estrutural e funcional dos mesmos, designados por isso de parâmetros de estado, estes caracterizam de uma forma objetiva o estado do pavimento num determinado instante.

Os parâmetros de estado a analisar para a determinação da qualidade dos pavimentos são variáveis, estes dependem dos responsáveis pela atividade rodoviária e de outras atividades com estas relacionadas. Segundo o projeto FORMAT (Full Optimised Road Maintenance) em 2004 (Branco, et al., 2011), para uma completa avaliação da qualidade dos pavimentos rodoviários e do impacto da mesma sobre o ambiente é necessário considerar a seguinte lista de parâmetros:

- qualidade estrutural;
- qualidade funcional;
- atrito transversal;
- ruído;
- visibilidade;
- resistência ao movimento;
- poluição atmosférica;
- vibrações.

No entanto, a escolha dos parâmetros a considerar deve ter em conta a sua precisão, qualidade, frequência de recolha de dados e os custos do levantamento, visto que os dados só devem ser recolhidos, se os benefícios que os mesmos fornecem ao sistema superarem o custo da sua recolha e manutenção (WERD, 2003). De uma forma geral, devem ser estudados os custos e benefícios relacionados com a recolha de dados com maior qualidade e rigor, visto que nem sempre as administrações rodoviárias públicas e privadas, possuem capacidade financeira, disponibilidade de equipamentos e equipas suficientemente preparadas para a execução do levantamento. Neste sentido, os parâmetros mais utilizados para a avaliação da qualidade dos pavimentos numa observação periódica, isto em relação a novos pavimentos, à reabilitação dos já existentes, e aos pavimentos quando se encontram numa fase de exploração são os seguintes:

- capacidade estrutural, conhecimento da componente elástica da deformação dos pavimentos;
- estado superficial, considerando as famílias de degradações associadas a cada tipo de pavimentos, com base num catálogo de degradações;

- regularidade longitudinal, conhecimento das variações da geometria existentes relativamente a um perfil ideal de projeto, presença do IRI (International Roughness Index);
- regularidade transversal, normalmente caracterizada pela presença de rodeiras;
- atrito transversal, análise de zonas de maior perigosidade para a circulação, zonas de acumulação de acidentes.

2.2.1. Capacidade Estrutural

Para a avaliação da capacidade estrutural procura-se medir a componente elástica da deformação do pavimento, neste sentido e partindo que os pavimentos atuais são corretamente dimensionados a deformação permanente é insignificante quando comparada com a deformação elástica, também designada por deformação vertical reversível.

As deformações verticais presentes à superfície dos pavimentos, designadas por deflexões são o melhor indicador da qualidade estrutural do corpo do pavimento, isto porque as mesmas são a resposta que o pavimento apresenta quando se encontra submetido à aplicação de uma carga em determinadas condições (Pereira, et al., 1999). Perante uma deflexão elevada pode-se afirmar que estamos perante um potencial mau pavimento, no entanto, se o pavimento apresentar pequenas deflexões não é seguro afirmar a presença de um bom pavimento.

Com base nas deflexões é possível caracterizar a capacidade global do conjunto pavimento-fundação, determinando também a contribuição de cada camada para as deflexões medidas a várias distâncias do ponto de aplicação da carga, ou seja, do centro da deformada.

Numa análise da deflexão ao longo do tempo e com o tráfego pode-se concluir que a mesma não tem um valor significativo durante a maior parte do período de vida do pavimento. No entanto, para muitos dos métodos de dimensionamento dos reforços de pavimentos, a deflexão é um importante dado a considerar. A utilização deste parâmetro para a determinação da qualidade estrutural dos pavimentos, ao nível da rede não é universal em todos os sistemas, no entanto ao nível de projeto, é um parâmetro já indispensável para a avaliação da evolução da qualidade estrutural dos pavimentos.

Nos parâmetros de estado que são considerados preponderantes para a determinação da qualidade estrutural dos pavimentos rodoviários, a deflexão é a que apresenta um custo mais elevado. No entanto vários estudos têm recorrido a outros parâmetros de estado de forma a avaliar o estado estrutural do pavimento, utilizando a irregularidade longitudinal e as degradações observáveis, mas os resultados obtidos não foram satisfatórios, podendo desta forma concluir que o conhecimento da deflexão é fundamental para prever o comportamento


dos pavimentos ao longo do tempo, ainda que seja apenas avaliado numa fase inicial da vida do pavimento e em mais duas ou três fases durante a vida do respetivo pavimento.

Os equipamentos de medição deste parâmetro são normalmente nomeados por defletómetros ou defletógrafos. No entanto, os equipamentos são distintos, estes diferenciam-se pela origem e natureza da carga aplicada no ensaio (Pereira, et al., 1999), os equipamentos mais representativos para a medição da capacidade estrutural dos pavimentos são os apresentados na Tabela 2.6, descrevendo também as suas principais características.


Tabela 2.6 - Equipamentos mais representativos para medição da capacidade estrutural de pavimentos rodoviários.

Equipamento	Características
<p data-bbox="347 808 544 842">Viga Benkelman</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - desenvolvido em 1953 por A.C. Benkelman; - destinado a medir a deflexão de um pavimento, quando sobre o pavimento é aplicada uma carga quase estática, através de um pneu de camião; - constituído por uma “base” e uma “viga”;- os ensaios podem ser realizados por dois ciclos, o “ensaio de carga e descarga” ou o “ensaio de descarga” (o mais utilizado); - ensaio moroso, sendo por isso incompatível a medição da deflexão num elevado número de pontos do pavimento; - apropriado para a observação a nível de projeto.
<p data-bbox="316 1424 579 1458">Deflectógrafo Lacroix</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - desenvolvido no LPCP, em França; - equipamento de medição praticamente em contínuo, sob a ação da carga quase estática dos rodados do eixo traseiro de um camião; - constituído por: um camião de chassis normal ou longo de dois eixos com o eixo traseiro duplo, quadro metálico, dois inclinómetros, um termómetro de infravermelhos, um sistema de aquisição, tratamento e restituição dos dados; - equipamento capaz de obter a deflexão na berma e no eixo da estrada; - adequado para a obtenção de informação ao nível da rede.

Continuação da Tabela 2.6 - Equipamentos mais representativos para medição da capacidade estrutural de pavimentos rodoviários

Equipamento	Características
<p data-bbox="247 884 646 913">Deflectómetro de Impacto (FWD)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="694 414 1364 526">- equipamento capaz de avaliar a capacidade estrutural do pavimento através da medição da sua resposta a uma carga de impacto; <li data-bbox="694 548 1364 862">- constituído por um reboque possui um sistema mecânico que comporta um eixo vertical ao logo do qual se desloca uma massa solidária com a estrutura metálica, onde na sua base detém um conjunto de amortecedores, que com a queda da massa transmitem uma tensão numa placa rígida (diâmetro variável entre os 300 e os 400 mm); <li data-bbox="694 884 1364 1321">- o reboque possui também equipamento informático de controlo do ensaio, de aquisição, tratamento e restituição da informação obtida presente num microcomputador, uma impressora e acelerómetros;- os acelerómetros estão suportado pelo reboque a determinadas distâncias de aplicação de carga, podendo estas serem variadas (dependendo da rigidez do pavimento), estando no entanto sempre alinhados com a direção do eixo do reboque, sendo a deflexão conhecida nos seus pontos de apoio; <li data-bbox="694 1344 1364 1556">- a rapidez da aplicação da carga simula a passagem de um veículo a uma velocidade compreendida entre os 60 e os 80 Km/h, isto ocorre, devido a aplicação da carga a 4 alturas distintas e com o valor das forças de impacto a variar entre os 30 e os 240 KN. <li data-bbox="694 1579 1364 1736">- equipamento indicado para uma observação a nível de projeto, no entanto se as características da rede forem conhecidas é possível a sua aplicação ao nível da rede.

Continuação da Tabela 2.6 - Equipamentos mais representativos para medição da capacidade estrutural de pavimentos rodoviários

Equipamento	Características
<p data-bbox="236 416 659 495">Deflectómetro de Impacto Portátil (CIP)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - equipamento capaz de determinar a capacidade de suporte das camadas do pavimento, a partir de um ensaio dinâmico de placa de carga; - é um equipamento portátil e de fácil deslocação; - as deflexão são medidas através de 3 sensores, que se podem posicionar a diferentes distancias em relação ao centro da placa de carga; - a célula de carga de alta precisão mede o valor máximo da força de impacto da queda de um peso vertical (variável entre os 10, 15 e 20 Kg) montado numa placa de carga de diâmetro variável entre os 100, 200 ou 300 mm.

2.2.2. Estado Superficial

A observação do estado superficial é em todos os sistemas ou métodos de avaliação da qualidade dos pavimentos um parâmetro preponderante, no entanto, trata-se do parâmetro mais difícil de avaliar pela fiabilidade dos resultados obtidos e pelo tempo de observação.

A avaliação do estado superficial e por conseguinte, de cada tipo de degradação, tem uma importância que deve ser ponderada na tomada de decisões, isto porque, os diferentes tipos de degradação e o modo de as observar são relevantes. A metodologia a adotar para a determinação do estado superficial deve ter em consideração as capacidades mobilizáveis, a nível técnico e financeiro, para observar e analisar os dados referentes às degradações.

A avaliação de cada tipo de degradação deve compreender a extensão da mesma (densidade) e o seu nível de gravidade, obtendo-se desta forma um elevado número de casos de estado superficial dos pavimentos em relação às diferentes degradações possíveis de encontrar.

Na avaliação das degradações superficiais dos pavimentos, a principal família de degradações é o fendilhamento, em distintos estados de desenvolvimento, incluindo a “pele de crocodilo”. As famílias de degradações como as rodeiras, a segunda família de degradações mais importante, o movimento de material designado por “subida de finos” e a exsudação, não são


famílias que normalmente se consideram nos SGP, sendo no entanto, muito relevantes para uma adequada avaliação do estado do pavimento.

As famílias de degradações mais comuns para cada tipo de pavimento são apresentadas nas Tabelas 2.7, 2.8 e 2.9.

É importante referir que as reparações podem ser também consideradas degradações, isto porque mesmo quando estas se encontram corretamente elaboradas criam descontinuidades, tornando os locais onde se encontram susceptíveis ao surgimento de novas degradações.

No que toca aos pavimentos semirrígidos, estes apresentam degradações semelhantes aos pavimentos flexíveis e rígidos, neste sentido, as degradações como as rodeiras, pele de crocodilo, bombagem de finos, desagregação superficial, peladas e covas (ninhas) também podem ocorrer neste tipo de pavimentos.

Tabela 2.7 - Tipos de degradações em pavimentos flexíveis.

Família de degradações		Descrição da degradação
Fendilhamento	Fadiga	 - fendas irregulares localizadas na zona de passagem dos rodados dos veículos.
	Longitudinal	 - fendas paralelas ao eixo da estrada, geralmente ao longo da zona de passagem dos veículos e/ou junto ao eixo e bermas.
	Transversal	 - fendas praticamente perpendiculares ao eixo da estrada, - podendo abranger toda a largura da faixa de rodagem.
	Parabólicas	 - fendas com um aspeto de meia lua; - localizadas normalmente na zona de passagem dos rodados dos veículos.
	Pele de crocodilo	 - fendas que formam uma malha de dimensão variável; - localizadas inicialmente na zona de passagem dos rodados dos veículos.

Continuação da Tabela 2.7 - Tipos de degradações em pavimentos flexíveis

Família de degradações		Descrição da degradação
Deformações	Localizadas	 <p>- alteração do nível do pavimento, formando depressões ou alteamentos; - pode surgir de forma isolada em diferentes pontos do pavimento.</p>
	Ondulações	 <p>- deformação transversal que se repete com determinada frequência ao longo do pavimento.</p>
	Rodeiras	 <p>- deformações transversais localizadas ao longo da zona de passagem dos rodados dos veículos, podendo apresentar grande raio (contribuição das camadas inferiores) ou pequeno raio(contribuição das camadas superiores).</p>
	Abatimentos	 <p>- rebaixamento localizado cuja a altura é mais baixa do que a superfície em redor;</p>
Desagregação da camada de desgaste	Peladas	 <p>- desprendimento em forma de placa da camada de desgaste em relação à camada inferior.</p>
	Covas (ninhos)	 <p>- cavidades de forma arredondada presentes na camada superior podendo atingir as camadas inferiores.</p>
	Cabeças de gato	 <p>- perda dos componentes mais finos da mistura, ficando os agregados com maior dimensão mais salientes;</p>
	Desagregação	 <p>- arranque de uma fração de agregado, normalmente o de maior dimensão, no entanto, pode ocorrer perda do mastic (finos, filer e ligante betuminoso).</p>

Continuação da Tabela 2.7 - Tipos de degradações em pavimentos flexíveis





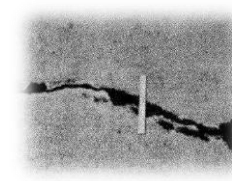
Família de degradações		Descrição da degradação
Movimento dos materiais	Exsudação	 - presença de ligante em excesso na camada de desgaste, conferindo-lhe um aspecto de negro brilhante e provocando redução da macrotextura.
	Subida de finos	 - manchas de cor clara na camada superior, devido à presença de finos provenientes das camadas inferiores.

Tabela 2.8 - Tipos de degradações dos pavimentos rígidos.

Família de degradações		Descrição da degradação
Fendilhamento das lajes	Fadiga	 - deriva da aplicação das cargas cíclicas ao longo da vida útil do pavimento, originando aberturas por fadiga dos materiais.
	Retração	 - ocorrem por impossibilidade de retração; - por vezes a ação da temperatura pode ser um causa.
	Encurvamento das lajes	 - deriva da diferença de temperaturas entre a face superior e inferior da laje, conduzindo a esforços suplementares na laje;

Continuação da tabela 2.8 - Tipos de degradações dos pavimentos rígidos.









Família de degradações		Descrição da degradação
Escalonamento das lajes	Desfasamento vertical da laje	 <ul style="list-style-type: none"> - apresenta falha na continuidade e nivelamento do pavimento; - pode fragmentar e desintegrar as lajes; - aparecimento do fenómeno de bombagem de finos.
	Desagregação das juntas	 <ul style="list-style-type: none"> - ocorre devido a uma incorreta selagem das juntas facilitando assim a acumulação de detritos.
Desagregação superficial	Desagregação da laje	 <ul style="list-style-type: none"> - arranque de agregado ou despendimento em placa; - ocorre normalmente a partir dos 0,5 metros para o interior da laje.
	Bombagem dos finos	 <ul style="list-style-type: none"> - devido à presença de descontinuidades a água presente nas camadas superiores com a ação continua e repetida das cargas impulsiona para a superfície as partículas finas.

Tabela 2.9 - Tipos de degradações em pavimentos semirrígidos.

Família de degradações		Descrição da degradação
Fendilhamento	Fadiga	 <ul style="list-style-type: none"> - ocorre devido à fadiga da camada de base (hidráulica) sobre a ação do tráfego e eventualmente sobre a ação térmica; - criam tensões desfavoráveis ao normal funcionamento do pavimento.
	Retração	 <ul style="list-style-type: none"> - resultam da natureza da camada de base (hidráulica) , pois esta normalmente possui fendas que se propagam para as camadas superiores (reflexão de fendas).
Degradação	Com perda de coesão	 <ul style="list-style-type: none"> - perda de coesão da camada hidráulica que se manifesta pelo aparecimento de pele de crocodilo de malha fina e evolui, quando a qualidade da camada superior é reduzida, para uma desagregação do material.
	Da interface	 <ul style="list-style-type: none"> - ocorre quando as camadas não se encontram corretamente coladas (camada de regularização e camada de base), criando um aumento das tensões instaladas nas camadas betuminosas que contribuem para o aparecimento de fendas e peladas.

A observação das degradações presentes na superfície dos pavimentos pode ser efetuada essencialmente por dois métodos, sendo eles, uma observação visual com registo do estados superficial em diferentes suportes ou, uma observação através de equipamentos fotográficos e/ou de filmagem e posterior tratamento.

Independentemente do método aplicado na observação, é necessário que exista um documento de referência que garanta a homogeneidade do resultado das observações. Para atender a este aspeto importante foram desenvolvidos ao longo do tempo e para diferentes realidades, Catálogos de Degradações. Nos catálogos de degradações é possível encontrar, para cada tipo de degradações e tipo de pavimento, a seguinte informação:

- definição e descrição sumária do tipo de degradação, de forma a apoiar a identificação das degradações observadas;
- definição dos níveis ou classes de gravidade, de modo a permitir a quantificação das degradações;
- exemplos de fotografias ilustrativas de cada degradação e de cada nível ou classe de gravidade;
- indicação dos modos de medir ou avaliar as degradações;
- indicação das causas possíveis e correspondentemente da evolução possível.

Na observação visual das degradações, tendo como objetivo o registo do estado em diferentes suportes e posterior tratamento é possível recorrer a duas formas distintas, sendo elas:

- observação e quantificação das degradações “in situ”, com o registo em forma de papel, ou
- observação e quantificação das degradações “in situ”, com o registo em formato digital quando a observação tem o recurso a um computador.

A observação e a quantificação das degradações, a partir de uma observação “in situ” obriga a que o operador se desloque ao local em estudo para proceder à quantificação das degradações presentes, tendo sempre como base o catálogo de degradações. O registo das degradações neste tipo de observação é efetuado em papel se o operador se deslocar a pé pelos trechos em estudo; ou em formato digital se o operador se deslocar num veículo que possui um microcomputador, este normalmente preparado com o *software* que permitem a utilização VIZIROAD (Figura 2.5), sendo o princípio de introdução dos dados a utilização de dois teclados previamente preparados com as degradações a considerar, níveis de gravidade e informações que se considerem relevantes para o objetivo em causa.

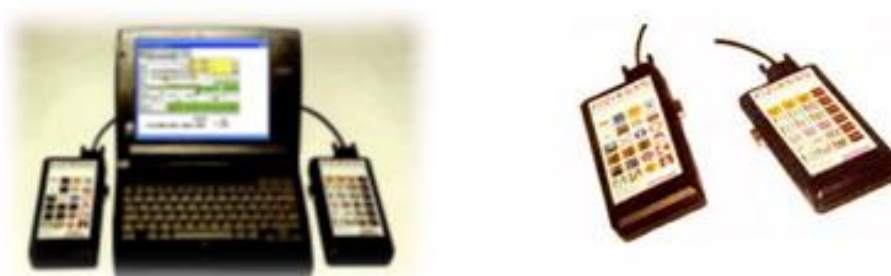



Figura 2.5 - Microcomputador com o *software* VIZIROAD (esquerda) e os teclados para a recolha de dados (direita)

A observação com base em imagens recolhidas recorrendo a equipamentos fotográficos e/ou de filmagem possuem a vantagem de possibilitar a redução de alguma subjetividade presente

na observação das degradações na superfície dos pavimentos, permitindo também que a observação seja realizada em menor tempo. Esta redução de subjetividade e de tempo dispensado deve-se ao facto de a quantificação das degradações ser realizada posteriormente em gabinete e também porque, estes equipamentos se encontram instalados em veículos que podem circular a uma velocidade compreendida entre os 40 e 60 Km/h, não perturbando a normal circulação da via. Estes dois aspetos apresentam-se muito vantajosos, isto a nível económico, com a redução dos custos de observação, e a nível de segurança em relação a operadores e utentes.

Os equipamentos como o GERPHO e o CALAO (ver Tabela 2.10), desenvolvidos pelo LCPC, o ARAN (Automatic Road Analyser) (figura 2.6) desenvolvido no Canadá e o laser RST (Road Surface Tester) (figura 2.7 desenvolvido na Suécia; são equipamentos multifunções capazes de observar um determinado conjunto de parâmetros distintos, como o estado superficial do pavimento, irregularidade longitudinal e transversal; mas também determinar as características geométricas do perfil longitudinal e transversal, parâmetros estes considerados essenciais para integrar numa base de dados rodoviária.

Tabela 2.10 - Sistemas de observação do estado superficial dos pavimentos com recurso a equipamentos fotográficos e de filmagem.

Métodos	Características
<p data-bbox="406 1265 507 1294">GERPHO</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - constituído por um veículo do tipo furgão munido de uma câmara fotográfica, de saída contínua, apoiada num suporte mecânico de forma a fotografar o pavimento na vertical, à velocidade de 60 Km/h; - utilizado durante o período noturno de forma a garantir condições de luminosidade constantes; - a quantificação das degradações é realizada segundo uma codificação pré-estabelecida (catálogo de degradações); - apresenta limitações pois não deteta deformações importantes como as rodeiras e o fendilhamento, quando estes ainda se encontram numa fase inicial; - considera-se um sistema parcial, visto que a quantificação das degradações é realizada por um operador igualando assim à subjetividade inerente a uma observação visual “in situ”.

Continuação da Tabela 2.10 - Sistemas de observação do estado superficial dos pavimentos com recurso a equipamentos fotográficos e de filmagem

Métodos	Características
<p data-bbox="416 562 496 589">CALAO</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - equipamento constituído por um veículo tipo furgão com: <ul style="list-style-type: none"> - uma câmara vídeo de grande abertura, que permite registar os elementos da estrada e a sua envolvente, - uma câmara vídeo de pequena abertura, que se encontra posicionada mais verticalmente quando comparada com a outra câmara existente, esta destina-se a observar o estado superficial do pavimento, - um sistema de armazenamento das imagens provenientes das câmaras utilizadas, para posterior tratamento, - uma barra transversal com os sensores ultrassons, que permite a observação do perfil transversal, tendo em consideração a irregularidade presente (rodeiras) e a sua inclinação; - o “Bump Integrator” utilizado de forma a se determinar a irregularidade longitudinal, - um giroscópio utilizado para a determinação da inclinação longitudinal, - um sistema ligado à coluna de direção para registo do raio de curvatura, - sistema DESY, utilizado para integrar informações complementares e por fim - um sistema informático de controlo, registo e restituição da informação produzida, - o levantamento é realizado durante o dia, sendo vantajoso em termos de custos de operação, no entanto, apresenta desvantagens em relação à diminuição de sensibilidade na presença de degradações na superfície do pavimento.

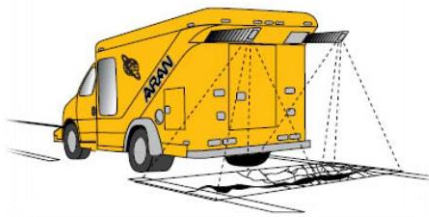


Figura 2.6 - Equipamento ARAN



Figura 2.7 - Equipamento Laser RTS

2.2.3. Regularidade Longitudinal

Na execução de trabalhos rodoviários existe sempre um desvio entre o perfil realizado e o perfil de projeto, também chamado por perfil de referência ou perfil teórico. O desvio entre os dois perfis é designado por irregularidade geométrica da superfície do pavimento.

A irregularidade corresponde a defeitos geométricos da camada de desgaste, com comprimentos de onda superiores a 0,5 metros (Branco, et al., 2011), que provocam vibrações, alterando assim a segurança de condução e o conforto para os utentes. A irregularidade apresenta-se geralmente de forma aleatória, isto é, numa curva de desvio (Figura 2.9) que representa a função entre o perfil realizado e o perfil de projeto, em que as características da superfície são aleatórias.

Para definir a irregularidade do perfil longitudinal pode recorrer-se a uma análise segundo dois aspetos:

- geométrico;
- efeitos físicos.

A irregularidade longitudinal segundo o aspeto geométrico é proveniente de um conjunto de desnivelamentos da superfície do pavimento, em relação ao perfil longitudinal ideal de projeto. A irregularidade longitudinal definida segundo os efeitos físicos compreende todos os defeitos da superfície do pavimento possíveis de provocar vibrações nos veículos.

A avaliação da irregularidade realiza-se com equipamentos de medida diferenciados, a sua análise é complexa devido ao facto de ser necessário o conhecimento em 2 direções, ou seja, a variação altimétrica do perfil e o seu desenvolvimento. Neste sentido, a irregularidade não é específica de um determinado ponto do pavimento, esta encontra-se definida a partir de um determinado trecho; assim sendo, ao longo de um trecho podemos identificar diferentes tipos de irregularidade longitudinal. Na figura 2.8 apresentam-se dois tipos de defeitos de regularidade.

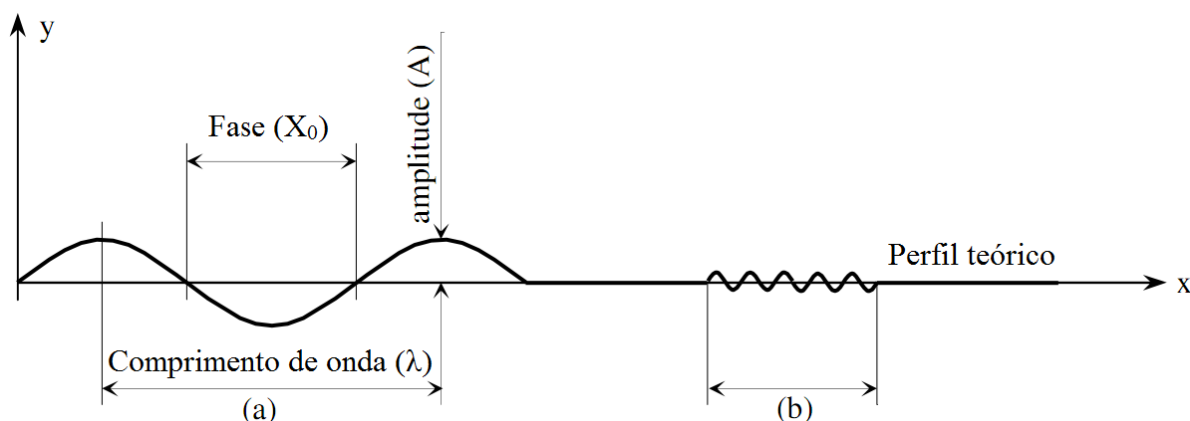


Figura 2.8 - Caracterização da irregularidade longitudinal (Pereira, et al., 1999)

Onde:

- a) representa uma irregularidade de elevado comprimento de onda e reduzida amplitude de frequência;
- b) representa uma irregularidade de pequeno comprimento de onda e com uma grande amplitude de frequência.

A presença de irregularidade longitudinal reduz a qualidade de circulação esperada, podendo ainda fazer com que haja uma evolução da qualidade estrutural que não a esperada. No entanto, é importante reconhecer a diferença entre a presença da irregularidade longitudinal num pavimento, de uma deficiência de conceção do mesmo. Uma deficiência de conceção do pavimento ao nível do perfil longitudinal é considerada quando o comprimento de onda é superior a 50 metros, para valores inferiores, compreendidos entre os 0,5 e os 50 metros, considera-se a presença de irregularidade.

O parâmetro de regularidade longitudinal é influente na opinião que o utente tem sobre a qualidade do pavimento. Desta forma, quando se recorre a uma avaliação da qualidade do pavimento e, por conseguinte, à avaliação da regularidade longitudinal do mesmo, os valores obtidos nos diferentes equipamentos, possíveis de utilizar para a análise da regularidade, são calibrados posteriormente num processo de classificação que tem em consideração a opinião do utente.

Nos sistemas de gestão e conservação dos pavimentos rodoviários em que este parâmetro é privilegiado em relação as degradações ou deflexões, existe um maior controlo da qualidade funcional do pavimento. Já nos sistemas em que as degradações e deflexões são mais privilegiadas, preserva-se principalmente a qualidade estrutural do pavimento (Branco, et al., 2011).

Os métodos de determinação da regularidade devem ser abordados a dois níveis: primeiro a nível do princípio e da técnica adotada para analisar o perfil e depois ao nível dos cálculos dos índices de regularidade do perfil medido. A avaliação da regularidade longitudinal deve ser realizada com recurso a diferentes equipamentos, os quais utilizam distintas técnicas e princípios de medida. O perfil longitudinal é também classificado por referência à resposta dinâmica de um sistema de medida, ou por índices determinados sobre imagens aproximadas do perfil, neste sentido, é necessário estabelecer uma referência de medição do perfil real, de forma a ser possível classificar as observações provenientes de outros equipamentos.

Nas últimas décadas foram desenvolvidos diferentes tipos de equipamentos, sendo de salientar:

- equipamentos baseados na resposta dinâmica de um veículo;
- equipamentos de referência geométrica simples;
- equipamentos baseados na obtenção de uma imagem do perfil da superfície do pavimento.

Os equipamentos baseados na resposta dinâmica, devido à dificuldade de manter a fiabilidade ao longo do tempo, estão a deixar de ser utilizados, ocorrendo o mesmo com os equipamentos de referência simples, como a régua de três metros. Estes equipamentos apresentam uma utilização reduzida e restrita, com um rendimento reduzido e de difícil operação. Os equipamentos de obtenção de uma imagem do perfil da superfície do pavimento, designados por perfilómetros são os mais utilizados.

Em função do equipamento utilizado, encontram-se diferentes funções de transferência da amplitude, sendo a transferência de amplitude a razão entre os valores reais da amplitude dos defeitos presentes no pavimento e os valores registados para diferentes frequências de ondulação dos pavimentos. Esta função permite definir os comprimentos de onda mais significativos, no entanto é possível afirmar que à medida que a velocidade aumenta os comprimentos de onda tornam-se mais inconvenientes.

Devido à dificuldade existente em comparar os índices de classificação da regularidade longitudinal, o Comité de Características Superficiais da Associação Mundial de Estradas (AIPCR), desenvolveu um estudo no âmbito do projeto FILTER onde elaborou uma norma de harmonização deste parâmetro.

Os equipamentos de análise da regularidade a partir da resposta dinâmica de um veículo, designados por equipamentos RTRRMS (Response-Type Road Roughness Measuring Systems ou Response-Type Systems) medem os deslocamentos relativos entre as massas suspensas e as massas não suspensas de um veículo de medida, entre os possíveis equipamentos de medida, temos: Bump Integrator, Mays Meter e NAASR roadmeter.

Os equipamentos de observação do perfil do pavimento fazem as suas medições através de uma gama simples de equipamentos ou numa gama mais complexa, utilizando lasers e equipamentos de referência inercial.

Os equipamentos de referência inercial são os equipamentos do futuro, este apresentam com elevada eficácia e fiabilidade na análise do perfil do pavimento, integrando-se no fluxo de circulação normal.


A aplicação de perfilómetros não determina exatamente o perfil verdadeiro do pavimento, este obtém as componentes essenciais para um dado objetivo (Branco, et al., 2011), neste sentido, a relação entre o perfil obtido e os índices produzidos com base nos dados recolhidos do perfilómetro devem seguir uma especificação previamente definida.

As operações de um perfilómetro compreendem a seguinte combinação:

- uma referência para a cota;
- uma altura relativa à referência;
- uma distancia horizontal.

Na Tabela 2.11 apresenta-se alguns sistemas de avaliação do perfil longitudinal e por conseguinte da regularidade longitudinal do pavimento.


Tabela 2. 11 - Tipos de equipamentos de observação da regularidade longitudinal.

Equipamentos	Características
<p data-bbox="387 1323 632 1352">Perfilómetro AASHO</p> 	<p data-bbox="818 1240 1366 1317">- permite medir a variâncias da inclinação do perfil do pavimento;</p> <p data-bbox="818 1368 1366 1675">- junto com o conhecimento de outras características superficiais (degradações) , permitiu o desenvolvimento de um índice global para a avaliação da qualidade de serviço do pavimento - Índice de Aptidão ao Serviço (IAS ou PSI- Pavement Serviceability Index).</p>

Continuação da Tabela 2. 11 - Tipos de equipamentos de observação da regularidade longitudinal.

Equipamentos	Características
<p data-bbox="276 647 742 678">Analisador do Perfil Longitudinal (APL)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="818 331 1358 734">- constituído por um veículo que contém um equipamento de aquisição de dados e um reboque que possui o equipamento de “observação” do perfil, o analisador do perfil longitudinal, constituído por um chassis com o seguinte equipamento: um amortecedor e uma mola, uma roda de medição, a ligação ao veículo e um pêndulo inercia; <li data-bbox="818 786 1358 1003">- para que as medições sejam corretamente efetuadas é necessário garantir a medida das elevações em relação ao perfil médio e a referência espacial destes valores ao longo da análise; <li data-bbox="818 1055 1358 1272">- com este equipamento é obtido um “pseudo-perfil” do pavimento a partir do qual se pode calcular diversos índices de regularidade, como o IRI (International Roughness Index).
<p data-bbox="336 1323 683 1355">Perfilómetro Gerenal Motors</p> <p data-bbox="400 1406 619 1438">(Perfilómetro GM)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="818 1379 1342 1641">- equipamento constituído por um acelerómetro, um sensor laser de medição de distância vertical, um medidor de distância percorrida, por exemplo o cronómetro do veículo, um computador de aquisição e tratamento de dados.

Continuação da Tabela 2. 11 - Tipos de equipamentos de observação da regularidade longitudinal.

Equipamentos	Características
<p data-bbox="395 622 624 651">Perfilômetro Laser</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - constituído por um veículo que contém uma viga de alumínio instalada na parte frontal do mesmo, um computador, um GPS e um equipamento de registo videográfico (Horta, et al., 2013); - a viga de alumínio tem como finalidade ser o suporte dos sensores do tipo laser, estes mesmo não contactando diretamente com a superfície do pavimento conseguem obter o seu perfil; - o computador permite verificar em tempo real a recolha de dados, relacionados com os parâmetros de estados e outras informações das inspeções mecânicas relevantes de forma a garantir um correto armazenamento das mesmas; - o levantamento do perfil é realizado no sentido dos deslocamento do veículo, preferencialmente segundo alinhamentos paralelos.

2.2.4. Regularidade Transversal

A regularidade transversal e por conseguinte o perfil transversal de um pavimento é um fator importante de avaliação da qualidade global da estrada, isto porque, as deficiências presentes podem afetar o conforto e a segurança da condução, particularmente, quando a camada superior do pavimento se encontra molhada ou com a presença de gelo.

O perfil transversal apresenta ao longo da sua vida, mesmo quando corretamente elaborado, assentamentos provenientes da passagem dos rodados. Estes assentamentos são designados por rodeiras e podem ser de pequeno ou grande raio. O objetivo da avaliação do parâmetro da regularidade transversal consiste em medir a profundidade máxima das rodeiras com base na análise do perfil transversal. Esta análise deve estar presente no plano de observação periódica de uma rede rodoviária, sendo por isso o seu conhecimento essencial para a determinação da qualidade funcional e estrutural do pavimento.

Para a determinação da regularidade transversal podem ser utilizados equipamentos de referência geométrica simples ou equipamentos com tecnologia laser ou de ultrassons. Os equipamentos de referência geométrica simples são a “régua de três metros” e o transversoperfilógrafo (Pereira, et al., 1999). A “régua” mede a deformação máxima na zona de passagem dos rodados, sendo esta graduada em milímetros. A utilização deste tipo de equipamentos apresenta como principal inconveniente o elevado custo de observação devido ao tempo necessário para a observação de cada perfil, pois esta apenas analisa uma deformação de cada vez, isto é, analisa independentemente a deformação presente junto à faixa de rodagem e a deformação presente junto à berma.

Da evolução da “régua de três metros” surge o equipamento transversoperfilógrafo, que permite medir de uma forma mais rápida todo o perfil transversal da via de tráfego. Este equipamento é constituído por uma régua metálica, graduada em centímetros, com dois apoios nos extremos e com um cursor que suporta uma roda que apoia na superfície da camada de desgaste do pavimento. O Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho desenvolveu um transversoperfilógrafo capaz de obter de uma forma continua a deformação e com auxílio de um computador portátil, avaliando a evolução da superfície do pavimento ao longo do tempo (Pereira, et al., 1999).

Existem ainda os equipamentos de observação com recurso à tecnologia laser e ultrassons, que operam a uma velocidade capaz de permitir a sua integração na corrente de tráfego normal. Estes equipamentos são constituídos por um veículo do tipo furgão no qual se integra uma barra transversal, junto do para-choques dianteiro. Esta barra transversal suporta emissores-captadores de raios laser ou de ultrassons, a informação obtida é depois armazenada em registo informático sendo possível conhecer varias características do perfil transversal.

Os equipamentos capazes de observar vários parâmetros em simultâneo são designados por equipamentos multifunções, sendo exemplo destes equipamentos o ARAN desenvolvido no Canadá (figura 2.6), o laser RST desenvolvido na Suécia (figura 2.7) e o sistema PALAS.

O sistema PALAS (figura 2.9), desenvolvido no LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 2005), determina para além dos valores das rodeiras máximas no lado da berma e no lado do eixo, a inclinação transversal do pavimento. Este equipamento é também capaz de determinar a “altura de água” que potencialmente se pode acumular nas rodeiras, sendo esta informação importante para avaliar o risco de circulação nas zonas de rodeiras elevadas.



Figura 2.9 - Equipamento PALAS (consultado em Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 2005)

2.2.5. Atrito Transversal

O atrito entre os pneumáticos e a superfície dos pavimentos é um parâmetro importante para segurança na circulação dos veículos e influencia os custos de circulação.

O atrito transversal tem um desenvolvimento ao longo do tempo em função de alguns fatores, como por exemplo:

- desgaste dos agregados, com a ação do polimento provocada pelos pneus;
- exsudação na camada de desgaste;
- aparecimento de descontinuidades devidas ao fendilhamento;
- redução da porosidade do pavimento, devido à densidade da camada de desgaste;
- existência de rodeiras, provocando a acumulação de água, com produção do fenómeno de aquaplanagem e a formação de gelo;
- poluição devida ao derrame de combustíveis que afetam os materiais da camada de desgaste.

Para avaliação do atrito do pavimento é necessário recorrer à medição de dois parâmetros, o coeficiente de atrito longitudinal (CAL) e o coeficiente do atrito transversal (CAT). Estes parâmetros têm como objetivo principal o conhecimento da distância de paragem e a avaliação da segurança de circulação em curva, respetivamente. O atrito transversal constituído o parâmetro que mais compromete a segurança da circulação, isto é, é o parâmetro que mais influencia a ocorrência de acidentes e a velocidade de circulação e consequentemente os custos de circulação.

A evolução do atrito pode ocorrer num curto espaço de tempo, devido à queda de chuva, ou durante a vida do pavimento, devido ao número acumulado de passagens dos veículos. Num pavimento seco existe sempre uma camada fina de pequenas partículas, provenientes do desgaste dos pneus, do próprio do pavimento e da acumulação de poeiras. No entanto, quando chove, estas partículas formam uma pasta fluida muito fina à superfície do pavimento que diminui o atrito. O valor do atrito transversal do pavimentos rodoviário quanto o mesmo se encontra seco e molhado é distinto e dependente de três aspetos: o perfil transversal do pavimento em causa, a macrotextura do pavimento e a permeabilidade da camada de desgaste (Branco, et al., 2011).

O conhecimento do valor do atrito transversal é importante no âmbito dos seguintes domínios (Pereira, et al., 1999):

- para identificação de zonas com atrito insuficiente que podem levar à ocorrência de acidentes (“pontos negros”);
- para programação da recuperação das características superficiais dos pavimentos;
- para a avaliação e estudo dos diferentes tipos de materiais e técnicas de construção, quanto à textura superficial resultante.

Muitos sistemas de gestão incluem um parâmetro relativo ao atrito transversal, este apenas é considerado quando é necessário analisar os “pontos negros” face aos acidentes, no entanto, quando este parâmetro é considerado e avaliado periodicamente, serve para definir os trabalhos de recuperação das características superficiais do pavimento, ou seja, é considerado no método de avaliação da qualidade funcional de um pavimento.

Para a avaliação deste parâmetro é possível recorrer a três métodos para a medição (Pereira, et al., 1999) , sendo eles:

- i. medição do atrito pontual, sem utilização de pneu;
- ii. medição do atrito transversal em contínuo, com pneu livre;
- iii. medição do atrito longitudinal em contínuo, com pneu bloqueado (este explicado posteriormente, pois como o nome indica avalia o atrito longitudinal).

O atrito pontual, sem utilização de pneu (método i) pode ser medido por vários métodos, como o método da “mancha de areia” e o Pêndulo Britânico (figura 2.10). O método mais utilizado é o do Pêndulo Britânico com interesse em pontos localizados do pavimento ou no estudo dos agregados em laboratório. O Pêndulo Britânico simula o escorregamento dos pneus numa travagem em pavimentos molhado a uma velocidade aproximada de 50 Km/h, avaliando assim a microtextura.



Figura 2.10 - Exemplo de um Pêndulo Britânico

Para a determinação do atrito transversal (método ii) são utilizados pneus que fazem um certo ângulo com a direção do deslocamento do veículo de ensaio, um dos equipamentos mais utilizados é o SCRIM (Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine) (figura 2.11). Este equipamento de uma forma contínua, a uma velocidade compreendida entre os 60 Km/h os 100 Km/h avalia o coeficiente de atrito transversal, com uma precisão 90% a 95%.

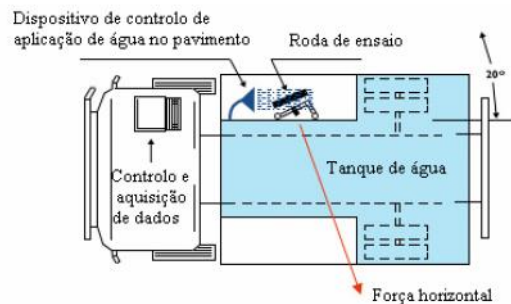


Figura 2.11- SCRIM (à esquerda) e esquema do SCRIM (à direita) (consultado em Alves T. S., 2007).

Para a medição do atrito longitudinal que tem por objetivo o conhecimento do coeficiente de atrito longitudinal (método iii), recorre-se à utilização de reboques tracionados a elevada velocidade, com bloqueamento da roda do reboque durante alguns minutos, obtendo-se desta forma a força desenvolvida na interface pneu-pavimento.

2.3. Análise de Custos /Desempenho dos equipamentos que permitem a observação de pavimentos rodoviários

Perante a diversidade de equipamentos existentes que permitem a observação dos pavimentos rodoviários, é importante saber qual a relação entre o custo de aquisição e utilização do equipamento, e o seu desempenho. Neste sentido vários estudos são realizados de forma a aferir quais os equipamentos que apresentam melhor relação.

Com base em estudo já realizados pelo Banco Mundial (Data Collection Technologies for Road Management, 2006) as técnicas que apresentam um equilíbrio entre o custo de aquisição e desempenho são as desejáveis para as empresas que têm restrições orçamentais, contudo, apresentam-se com base em técnicas simples, com precisão restrita e menos dispendiosas em termos de operação e manutenção. Relativamente aos equipamentos que apresentam uma relação entre custo e desempenho baixa, estes apresentam-se com um custo de aquisição elevado e utilizam técnicas muito específicas, podendo ter um baixo desempenho funcional.

Existe também os equipamentos como o Deflectómetro de Impacto (FWD) e o SCRIM, que apesar de apresentarem bons resultados em termos de desempenho, isto devido à sua alta precisão, exigem para a sua utilização vastos conhecimentos da parte dos operadores, tornando os seus custos de operação/manutenção elevados.

A tabela que se segue (Tabela 2.12) tem como base a apresentada na revista Transport n°30 (Bennett, et al., 2006), a mesma apresenta uma avaliação das classes de equipamentos normalmente empregues para a determinação dos parâmetros de estado que caracterizam o pavimento. A tabela apresenta valores compreendidos entre 1 e 5, sendo 1 equipamento com baixo potencial, indicando um alto custo de aquisição e baixo desempenho operacional e 5 para equipamentos de baixo custo e de alto desempenho operacional.

Tabela 2.12 - Qualificação dos equipamentos numa relação entre custo e desempenho.

Tipo de equipamento	Valor da classificação
Equipamentos de ultrassom	4,0
Equipamentos elétricos	3,9
Equipamentos de captação de imagem	3,3
GPS	2,7
Termografia infravermelha	1,7

Com base na interpretação da tabela apresentada é possível concluir que a relação custo desempenho dos sistemas que recorrem à captação de imagem apresentam uma boa relação entre o custo e desempenho, apresentando todas as vantagens já referidas.

3. Sistemas de Informação Geográfica e bases de dados para gestão rodoviária

3.1. Definições e Componentes dos SIG

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são sistemas desenvolvidos para conter informação georreferenciada. Não existe uma definição única para este termo, existem várias definições de SIG, no entanto, estas são convergentes e refletem a importância do tratamento da informação geográfica, de acordo com a finalidade do sistema em causa. Apresentam-se de seguida quatro definições encontradas na bibliografia consultada para o termo SIG, no sentido de clarificar o significado do mesmo:

- SIG é, “um conjunto de procedimentos, manuais ou automatizados, utilizados no sentido do armazenamento e manipulação de informação georreferenciada” (Aronoff, 1989);
- SIG é, “ um sistema de apoio à decisão envolvendo integração de informação georreferenciada num ambiente de resolução de problemas” (Cowen, 1988);
- SIG é, “um sistema computacional, usado para o entendimento dos factos e fenómenos que ocorrem no espaço geográfico. A sua capacidade de reunir uma grande quantidade de dados convencionais de expressão espacial, estruturando-os e integrando-os adequadamente, torna-o ferramenta essencial para a manipulação das informações geográficas” (Pina, et al., 2000);
- SIG é, “um conjunto de ferramentas especializadas para adquirir, armazenar, transformar e emitir informações espaciais, descrevendo os objetos do mundo real em termos de posicionamento, em relação a um sistema de coordenadas, relevando todo o seu potencial na pesquisa da previsão de determinados fenómenos ou no apoio a decisões de planeamento” (Burrough, 1986), sendo esta definição de SIG a utilizada nas publicações referentes às aplicações dos SIG em Gestão Rodoviária e como tal, importante no enquadramento do estudo apresentado.

As várias definições de SIG apresentadas mostram a multiplicidade de usos e visões possíveis para este tipo de sistemas, apontando assim para uma perspetiva interdisciplinar da utilização dos mesmos, isto deve-se ao facto de a informação geográfica ser aplicável em diversas áreas. Neste sentido, é difícil apresentar um levantamento exaustivo das áreas possíveis de aplicação destes sistemas, visto que, a sua utilização mais generalizada é relativamente recente.

Os SIG são compostos por três componentes essenciais: os componentes físicos, os componentes funcionais e os recursos humanos (ver figura 3.1).

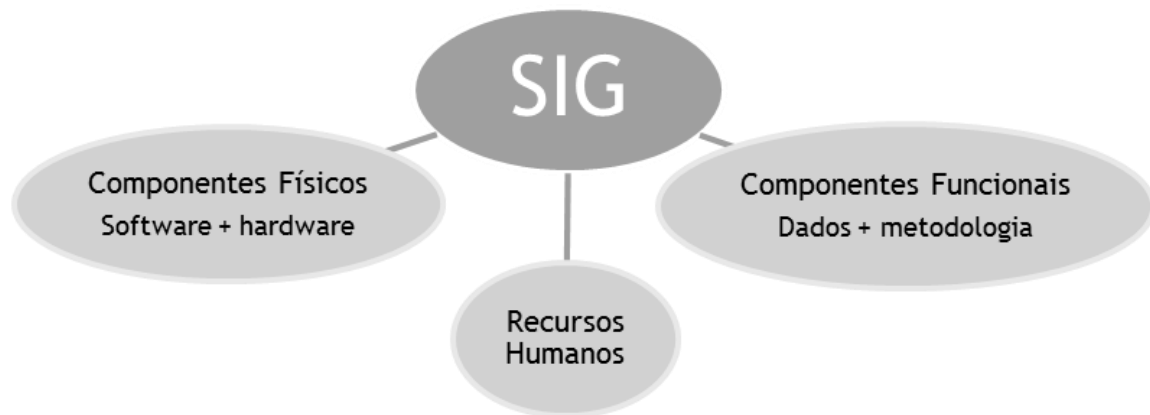


Figura 3.1 - Componentes dos SIG

Os componentes físicos dos SIG abrangem o *hardware* e o *software*. A componente *hardware* engloba o computador e todos os equipamentos necessários para o desenvolvimento do sistema. Como exemplo de equipamentos temos: o PC ou *workstation*, até os minicomputadores ou *mainframe*. No entanto é importante referir que estes equipamentos podem funcionar com diversos sistemas operativos. É também um requisito essencial que os equipamentos possibilitem a entrada e saída de dados gráficos, recorrendo a periféricos como *scanners*, mesas digitalizadoras, *plotters*, impressoras, monitores gráficos, recetores de GPS ou instrumentos topográficos eletrónicos, para que o software consiga desempenhar as funções esperadas. A componente de *software* consiste num programa específico para o suporte de informação geográfica, programa este que pode ser comercial ou livre, eventualmente livre e *opensource*. Ainda na componente de *software* é geralmente possível encontrar programas escritos numa linguagem de programação convencional ou própria do sistema de suporte dos dados geográficos. A componente de *software* tem como objetivo possibilitar:

- a entrada e o armazenamento de dados;
- a gestão da base de dados;
- a transformação de dados;
- a saída e apresentação dos dados e
- a interface com o utilizador.

Os componentes funcionais são constituídos pela metodologia de aquisição de dados e pelos próprios dados. O elemento dado constitui um recurso crucial em muitos sistemas, isto porque, os dados são o material que suporta todo o sistema, permitindo gerar informação do

ponto de vista do utilizador. Os dados apresentam-se sob a forma de mapas, tabelas, imagens, cadastros, relatórios e textos, em meio analógico ou digital, sendo os mesmos, dinâmicos e temporais. Neste contexto, é importante ter em consideração que é necessário desenvolver um programa detalhado de aquisição de informação, segundo o objetivo em causa, isto porque os SIG são projetados para resolver um conjunto específico de problemas, podendo posteriormente evoluir para uma ferramenta de uso mais alargado.

Os recursos humanos são um elemento fundamental, isto porque, é a componente humana que entra em contacto com o sistema, de forma direta e/ou indireta. A componente humana que os SIG contemplam englobam os operadores, programadores, utilizadores, informáticos e especialistas em análise espacial, entre outros. É importante ter em consideração que, os resultados obtidos são dependentes da experiência do utilizador e também da sofisticação e da capacidade de processamento dos programas e dos equipamentos utilizados.

A interação do utilizador com o sistema é realizada através da interface gráfica com menus. Nesta é possível efetuar um conjunto de operações que permitem a entrada, integração, consulta, manipulação, gestão da base de dados e preparação de saídas de dados, como já referido anteriormente. A entrada de dados nos SIG é designada por *input* e consiste na conversão de dados externos para um formato interno ao sistema, podendo ser, dados gráficos ou dados alfanuméricos. Os dados gráficos correspondem a dados que estão relacionados com a observação do mundo real de forma direta e/ou indireta. Os dados alfanuméricos estão relacionados com o conceito de Base de Dados (BD), isto é, dados organizados por tabelas com informação relativa ao objeto ou fenómeno gráfico a que se refere e como tal se relacionam. Neste sentido, torna-se importante esclarecer o significado da palavra fenómeno no contexto geográfico: o fenómeno é tudo o que é objeto de experiência possível, ou seja, tudo o que ocorre no tempo ou no espaço (Matos, 2006). A correta conceptualização de um fenómeno é a base para o sucesso do sistema onde o mesmo se encontra inserido. As funções de *output*, saída de dados, permitem analisar, visualizar, manipular e gerar relatórios e mapas, gerados em papel ou em formato digital. É importante referir que a qualidade, precisão e facilidade de utilização do sistema são variáveis nas funções de *output*.

3.2. Potencialidades dos SIG como ferramenta de apoio à gestão de pavimentos

Os SIG são essenciais do ponto de vista da associação de informação, isto porque, permitem a representação gráfica de informação de natureza espacial, com associação de informações alfanuméricas. Neste sentido, os SIG facilitam a análise, gestão e reprodução do espaço e dos

fenómenos, permitindo efetuar estas operações de uma forma clara, rápida e sofisticada, tendo em conta a realidade do espaço geográfico representado, auxiliando assim a intervenção no mesmo. Desta forma, de entre as principais potencialidades dos SIG, é possível salientar:

- a diversidade de formatos em que a informação geográfica pode ser inserida no sistema;
- a variedade de áreas de aplicação deste tipo de sistemas.

De entre a diversidade de formatos em que a informação geográfica pode ser inserida no sistema, destacam-se o formato vetorial e o formato *raster*. Na Tabela 3.1 encontram-se apresentadas algumas vantagens e desvantagens da utilização de cada um dos referidos formatos (Pina, et al., 2000), (Câmara, et al., 2001), (Dias, 2003), (Matos, 2006).

Tabela 3.1- Vantagens e Desvantagens do formato vetorial e do formato *raster*.

Tipo de formato	Vantagens	Desvantagens
Formato Vetorial	<ul style="list-style-type: none"> -Boa representação dos modelos de dados; -Os elementos que descrevem o fenómeno apresentam-se sob a forma de objetos discretos (pontos, linhas ou polígonos); -Estrutura de dados compacta; -Topologia descrita de forma explícita; -Transformação de coordenadas simples; -Representação gráfica precisa em qualquer escala; -Facilidade em atualizar a generalidade de atributos dos dados inseridos; -Facilidade de associar atributos a elementos gráficos; -Armazenamento mais eficaz devido ao facto de o mesmo ser efetuado por coordenadas; -Disponibilidade em relacionar diferentes objetos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Estrutura de dados complexa; -Combinação de várias redes de polígonos por interseção ou sobreposição difícil de realizar; -Processos de interação espacial mais complicado; -Problemas com erros geométricos; -Representação indireta de fenómenos contínuos; -Álgebra de mapas limitada; -Equipamento de Software e Hardware normalmente mais caros, quando comparados com os necessários para o formato raster; -A sobreposição de distintos mapas vetoriais é de elaboração lenta; -Não é compatível com dados obtidos por Detenção Remota.

Continuação da Tabela 3.1- Vantagens e Desvantagens do formato vetorial e do formato *raster*.

Tipo de formato	Vantagens	Desvantagens
Formato Raster	<ul style="list-style-type: none"> -Estrutura de dados simples; -Organiza os fenómenos numa grelha de células, denominadas por pixéis; -Compatível com dados obtidos a partir de dados de Scanners e Deteção Remota; -Manipulação de dados de forma simples; -Possibilidade de um número variado de análises espaciais; -Modelos matemáticos simples devido à forma simples e regular das entidades espaciais; -Requer tecnologia barata; -Processamento de algoritmos de forma rápida e eficaz; -Boa representação de fenómenos que variam de forma contínua; -Simulação e modelagem fáceis de efetuar. 	<ul style="list-style-type: none"> -Grande volume de dados; -Requer uma elevada capacidade de armazenamento; -Adequado para pequenas escalas, inferiores a 1:25000, isto porque a utilização de pixéis de maior tamanho, de forma a reduzir o tamanho dos ficheiros, leva a uma perda de resolução e por consequência, a uma perda da qualidade de informação; -Transformação de coordenada difícil, em termos de tempo; -Armazenamento efetuado por matrizes; -Associa atributos apenas à imagem.

Outra das potencialidades deste tipo de sistemas é, como já referido, a variedade de áreas em que pode ser aplicado, sendo no entanto difícil apresentar um levantamento exaustivo das mesmas, estando a utilização de informação geográfica focada em 5 grandes domínios (Matos, 2006), sendo eles:

- Informação cadastral e infraestruturas;
- Planeamento e gestão de recursos naturais;
- Modelação espacial e temporal;
- Visualização de informação geográfica;
- Navegação.

Sendo os SIG aplicáveis a diversas áreas, estes apresentam uma grande utilidade na área de gestão e conservação dos pavimentos rodoviários. Isto deve-se ao facto de as instituições responsáveis pela gestão dos pavimentos rodoviários terem cada vez mais a necessidade de manter atualizada a informação sobre o estado dos pavimentos, quer devido a um aumento de exigência por parte dos utentes, colocando as instituições num maior controlo, quer pela

necessidade de gerir a aplicação dos recursos financeiros, muitas vezes escassos para as reais necessidades de intervenção.

A aplicação dos SIG como ferramenta de apoio à gestão e conservação dos pavimentos apresenta grandes vantagens em termos de visualização e organização da informação sobre os mesmos, facilitando assim a interpretação dos dados obtidos de forma a determinar a qualidade dos pavimentos. Atualmente as exigências em relação à qualidade dos pavimentos justificam os investimentos na aquisição de inovadores e eficientes mecanismos de aquisição, tratamento e visualização de dados, sendo neste sentido, que os SIG se apresentam como uma ferramenta muito importante para este tipo de instituições.

Na gestão dos pavimentos rodoviários, os SIG podem ser usados nas seguintes operações:

- integração de cadastro alfanumérico através de georreferenciação dos elementos a cadastrar;
- criação de base de dados espacial, isto porque, a aplicação da base de dados tem sempre associada a posição geográfica;
- identificação, qualificação e quantificação dos elementos da malha rodoviária.

Com base nas operações que são possíveis executar com os SIG, é possível criar e manter atualizado um cadastro de estradas, onde se identificam e se relacionam as informações relevantes sobre a mesma, como por exemplo:

- informações sobre as características físicas da estrada (desenvolvimento da mesma, características do seu perfil transversal, estado de conservação dos pavimentos, bermas, passeios, etc.);
- equipamentos;
- dados sobre obras de arte;
- expropriações;
- uso do solo;
- condições ambientais;
- topografia;
- hidrologia;
- localização e dados sobre acidentes, portagens e tráfego, entre outros.

Em Portugal, este tipo de sistemas tem sido aplicado sobretudo na gestão dos pavimentos rodoviários, mas também no auxílio à:

- identificação dos “ pontos negros” de acidentes, de forma a reduzir a ocorrência dos mesmos, com base na informação cadastral;
- localização dos pontos de socorro, de forma a determinar tempos de socorro e os percursos mais adequados para assistência ao utente;

- análise das operações e dos seus impactos, em zonas de obras;
- quantificação de recursos necessários para a manutenção de uma via tendo em consideração o volume de tráfego e as informações operacionais anteriores;
- localização e gestão da sinalização rodoviária e dos dispositivos de segurança da estrada;
- criação de mapas e de outras representações gráficas.

3.3. Base de dados rodoviária

3.3.1. Modelos de Bases de Dados

Toda a informação que nos permite resolver um problema, ou nos facilita a resolução do mesmo, pode ser intitulada de dados úteis. Estes dados devem ser organizados de forma a serem de acesso rápido e eficaz, e quando assim se encontram estruturados designam-se de Base de Dados (BD). Segundo Macedo (Macedo, 1988), uma base de dados pode ser descrita como “um conjunto de informação, integrada e coerente, satisfazendo requisitos de segurança e de confidencialidade, armazenada em meios informáticos, que possibilitam o acesso por parte de utilizadores com diferentes perspetivas”. Presentemente, o termo de BD é referido para bases de dados informáticos, ou seja, conjunto de dados organizados e tratados num Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD) e que são a base dos sistemas informáticos.

Sendo importante manter atualizada e organizada a informação armazenada numa base de dados (BD) é importante conhecer a melhor forma de representar, catalogar e caracterizar as diversas entidades associadas à mesma tendo em consideração o caso de estudo, para o qual se pretende construir a base de dados.

No processo de elaboração de uma BD é necessário realizar os seguintes procedimentos:

- Identificação das entidades do domínio em estudo;
- Caracterização de cada uma das entidades com base na definição dos seus atributos;
- Estabelecimento dos relacionamentos entre as referidas entidades.

O suporte onde é elaborada a base de dados tem como apoio um modelo de dados, este pode ser de quatro tipos distintos: modelo hierárquico, modelo em rede, modelo orientado por objetos e modelo relacional. Torna-se assim importante referir desde início, qual o modelo de dados que se encontra aplicado no sistema de base de dados em causa, isto para ser possível delimitar o método de efetuar o desenvolvimento do “esquema” da base de dados. As

principais características destes quatro tipos de modelos de bases de dados são apresentadas na tabela 3.2.

Tabela 3.2- Tipos de modelos de base de dados.

Tipo de Modelo	Características do Modelo
Modelo Hierárquico	<ul style="list-style-type: none"> - organiza os dados de forma hierárquica; - modelo de elaboração e utilização rápida e fácil; - modelo atualmente em desuso, pois apresenta-se inadequado para relacionar dados de todas as categorias, ou seja, é complicado enquadrar um dado que se encontra relacionado em distintas áreas.
Modelo em Rede	<ul style="list-style-type: none"> - modelo que teve por base a reformulação do Modelo Hierárquico; - modelo que agrupa os dados e registos em três conceitos, sendo eles: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Item: medida mais pequena de dados e é identificada por um nome; ◦ Agrupamento de dados: que representa um grupo de itens; ◦ Registo: é um conjunto de itens e agrupamentos de dados identificados por um nome; o registo serve de troca entre a base de dados e os ficheiros. - modelo pouco eficaz pois não garante a independência entre os dados e os programas.
Modelo Orientado por Objetos	<ul style="list-style-type: none"> - base de dados que permite, para além de armazenar os dados, criar informação com os mesmos; - garante sempre a relação entre os dados e o contexto em que os mesmos se encontram.
Modelo Relacional	<ul style="list-style-type: none"> - considerado o melhor modelo e o mais utilizado; - baseado numa teoria matemática de relações, onde é garantida apenas um lugar na base de dados para cada dado; - modelo que se baseia em dois conceitos, o de entidade e o de relação; - formado por um conjunto de tabelas que estão relacionadas por atributos comuns, sendo por isso possível a junção de dados de distintas tabelas.

A informação a constar na base de dados pode ser disposta em tabelas, linhas, campos e chaves. A tabela é o agrupamento mais simples para o armazenamento da informação, sendo esta composta por um conjunto de linhas e colunas. A linha de uma tabela representa as

características da entidade que a tabela apresenta, como tal, a linha é um conjunto de atributos. As tabelas elaboradas segundo o modelo racional apresentam uma coluna que identifica, univocamente, cada linha de dados de uma forma chave, designada como identificador único; as restantes colunas da tabela são designadas por descritores.

3.3.2. Base de Dados Rodoviários

A base de dados é a componente principal de um Sistema de Gestão da Conservação de Pavimentos Rodoviários (SGCPR). Nos diferentes SGCPR, os dados presentes nas respetivas bases de dados podem ser distintos, o que ocorre devido ao facto da mesma ser definida em função dos objetivos a atingir pela entidade responsável por cada sistema. Neste sentido, e perante o elevado número de dados passíveis de serem incorporados na base de dados, as Tabelas 3.3 e 3.4 apresentam um resumo dos grupos de dados considerados em alguns SGCPR nacionais e internacionais.

Tabela 3.3 - Conjunto de dados considerados em Bases de Dados de Sistemas de Gestão da Conservação de Pavimentos Internacionais.

Grupo de dados a considerar	Sistema de Gestão de pavimentos							
	PEMM	HIPS	HIMS	SIMS	WSPMS	VEJMAN	ORAGE	HDM-4
Geometria da rede	X	X	X	X	X	X	X	X
Identificação e referenciação	X		X				X	
Avaliação da qualidade	X	X	X	X	X	X	X	X
Dados de caracterização do tráfego	X	X	X	X	X	X	X	X
Condições climáticas	X	X	X				X	X
Caracterização dos materiais	X							
Dados dos custos unitários	X	X	X	X		X		X
Ações de Conservação	X	X	X	X	X	X	X	X
Restrições orçamentais		X				X		
História dos pavimentos			X	X	X	X	X	
Planos de Intervenção						X		
Classificação funcional das vias							X	
Estrutura do pavimento								
Produtividade								X
Recursos								X
Dados referentes a acidentes								X
Efeitos ambientais								X

Os conjuntos de dados considerados na tabela anteriormente apresentada (Tabela 3.3) baseiam-se numa recolha de dados considerados nos seguintes sistemas:

- PEMM, sistema desenvolvido na Dinamarca;
- HIPS, sistema desenvolvido na Finlândia;

- HIMS, sistema desenvolvido no Reino Unido;
- SIMS, sistema desenvolvido nos EUA em San António;
- WSPMS, sistema desenvolvido nos EUA em Washington;
- VEJMAN, sistema desenvolvido na Dinamarca;
- ORAGE, sistema desenvolvido na França;
- HDM-4, sistema desenvolvido pelo Banco Mundial.

Tabela 3.4 - Conjunto de dados considerados em Bases de Dados de Sistemas de Gestão da Conservação de Pavimentos Nacionais.

Grupo de dados a considerar	Sistema de Gestão de pavimentos				Autores		
	Meio Interurbano		Meio Urbano				
	Ex-JAE	Estradas de Portugal	Lisboa	Oliveira do Hospital	SIGPAV	Macedo,	Pereira, P.
Geometria da rede	X	X	X	X	X	X	X
Identificação e referenciação	X	X	X	X	X	X	X
História dos pavimentos	X	X		X	X		
Avaliação da qualidade	X	X	X	X	X	X	X
Dados de caracterização do tráfego	X	X	X	X	X	X	X
Condições climáticas	X	X	X	X	X	X	X
Dados de custos unitários	X	X	X		X	X	
Ações e obras de conservação	X	X	X	X	X	X	X
Classificação funcional das vias			X	X	X		
Dados de custos de construção e conservação		X	X	X	X		X
Dados complementares (acidentes, passagens para peões, efeitos)		X	X		X	X	
Estrutura do Pavimento		X	X	X	X		X

Com base nas tabelas 3.3 e 3.4 é possível concluir que os principais grupos de dados que são considerados na globalidade dos Sistemas de Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários (SGCPR) são:

- Geometria da rede;
- Identificação e referenciação;
- Avaliação da Qualidade do Pavimento;
- Dados de Caracterização do tráfego;
- Ações e Obras de Conservação;
- Estrutura e História dos pavimentos.

3.3.3. Base de Dados de Patologias em Pavimentos Rodoviários

Um dos principais objetivos dos sistemas de gestão é a avaliação da qualidade dos pavimentos, para tal, a base de dados deve:

- permitir arquivar de uma forma fácil e fiável todos os dados resultantes da auscultação dos pavimentos;
- fornecer uma apresentação homogénea e prática das conclusões de cada observação efetuada;
- permitir o tratamento de todos os dados.

A avaliação da qualidade dos pavimentos é baseada numa observação do estado do pavimento ao longo do tempo, de forma a se conhecer a qualidade estrutural e funcional do pavimento em causa. Para efetuar essa avaliação é possível aplicar diferentes metodologias, sendo elas:

- Avaliação global;
- Avaliação paramétrica;
- Avaliação mista.

A avaliação global baseia-se na determinação de um índice global, resultante da análise dos parâmetros de estado, onde os mesmos têm ponderações distintas. As ponderações são determinadas tendo em consideração alguns fatores, como a política de conservação e o estado de desenvolvimento da rede em causa. Este método de avaliação apresenta como vantagens a facilidade de classificar o estado dos pavimentos através de um único valor, que é atribuído a cada secção de pavimento, sendo a representação cartográfica clara e evidente do estado em que o pavimento se encontra, simplificando assim a análise e a tomada de decisões na área da conservação. No que toca às desvantagens, este método apresenta como falha a atribuição de um valor para situações de estado de pavimentos bastante diferentes. O facto de a avaliação ser baseada na determinação de um índice e de este ter em ponderação distintos parâmetros, torna-se também uma desvantagem para este método de avaliação, isto porque existe uma dificuldade na ponderação a atribuir a cada parâmetro considerado no cálculo do índice de qualidade global (IQ). Neste contexto, é importante referir que os parâmetros mais usados para este tipo de avaliação são as degradações superficiais (fendilhamento, pele de crocodilo, covas, peladas, reparações) e a regularidade transversal e longitudinal (rodeiras e IRI, respetivamente). Como exemplos de sistemas que aplicam este tipo de avaliação temos os sistemas de WSPMS de Washington (Federal Highway Administration, 2008) e o HDM-4 do Banco Mundial (Pereira, et al., 1999). Em Portugal, os sistemas de Gestão da Conservação de Pavimentos das cidades de Lisboa (Pavement Management system for Lisbon, 2004) e Oliveira do Hospital (Meneses, et al., 2006) constituem exemplos de SGPR urbanos que recorrem a este tipo de avaliação. A nível interurbano, aplicado à gestão da rede rodoviária nacional, tem-se o SGPR da EP, SA.

A avaliação paramétrica tem como base a definição de classes para cada um dos parâmetros a considerar na caracterização do estado do pavimento, sendo essas classes determinadas em função das consequências que as mesmas provocam ao pavimento, isto em relação à qualidade funcional e à qualidade estrutural. Uma das desvantagens da aplicação deste tipo de metodologia é o facto de requerer uma análise muito exaustiva, considerando um elevado número de parâmetros. No entanto, este método tem como vantagens o facto de a definição do estado do pavimento ser mais precisa, apresentando uma correta definição do tipo de intervenção necessária. Como exemplos de sistemas que aplicam este método de avaliação tem-se o sistema aplicado na Finlândia, o HIPS (Santos, 2002), o sistema aplicado em França, o ORAGE (Santos, 2002).

A avaliação mista tem em consideração as diferentes classes dos parâmetros de estado, definindo-as com base na aplicação de uma grelha de dupla ou tripla entrada. O sistema de gestão do estado da Califórnia e o da Ex-JAE (ex-Junta Autónoma das Estradas) tinham como base este tipo de avaliação (Branco, et al., 2011).

Na Tabela 3.5 apresenta-se uma compilação dos parâmetros normalmente considerados na avaliação da qualidade dos pavimentos, tendo como base os sistemas mais recentes referidos nas tabelas anteriores (Tabela 3.3 e Tabela 3.4).

Tabela 3.5 - Dados que se consideram na avaliação da qualidade dos pavimentos em distintos SGP.

Dados que se consideram na avaliação da qualidade dos pavimentos		Sistemas de Gestão da Conservação de pavimentos rodoviários					
		HDM-4	Ex-JAE	SGPOH	EP, SA	SGPLx	EP, SA *
Degradações superficiais	Fendilhamento e Pele de Crocodilo	X	X	X	X	X	X
	Covas			X	X	X	X
	Peladas			X	X	X	X
	Rodeiras	X		X	X	X	X
	Deformações Localizadas	X			X		X
	Reparações			X	X	X	X
Irregularidade (longitudinal e transversal)		X	X	X		X	X
Deflexão		X	X				
Atrito transversal			X		X		X
Estado das bermas							
Tráfego		X	X		X		X
Comportamento da base					X		X

Continuação da Tabela 3.5 - Dados que se consideram na avaliação da qualidade dos pavimentos em distintos SGP.

Dados que se consideram na avaliação da qualidade dos pavimentos	Sistemas de Gestão da Conservação de pavimentos rodoviários					
	HDM-4	Ex-JAE	SGPOH	EP, SA	SGPLx	EP, SA **
Qualidade de circulação	X			X		X
Aderência transversal				X		X
Estado dos passeios					X	
Estado das valetas e lancis				X		X
Condições climáticas	X					
Capacidade estrutural	X			X		X
Resistência à derrapagem				X		X

**Novo sistema aplicado com a aquisição do perfilômetro laser em 2011

Tendo em consideração os dados apresentados na tabela anterior (Tabela 3.5) é possível concluir quais os parâmetros que são considerados na generalidade dos sistemas referidos. Para as degradações superficiais, são normalmente consideradas: o fendilhamento, a pele de crocodilo, as peladas, as covas, as deformações localizadas, as rodeiras e as reparações. Para além das degradações superficiais a maioria dos sistemas incorporam na avaliação a irregularidade longitudinal e transversal.

No entanto, é possível concluir que os parâmetros que se encontram subjacentes à avaliação da qualidade dos pavimentos são muitos variáveis, dependendo do método de avaliação aplicado.

A nível nacional, a Ex-JAE aplicava o método de avaliação mista, no entanto os sistemas mais atuais apresentados, os sistemas da EP (o inicial e o atual com a aquisição do perfilômetro a laser), SGPOH, SGPLx têm como base uma avaliação global.

O Sistema da Ex-JAE considerava uma grelha de tripla entrada, onde se relacionava a capacidade de suporte (deflexão), o estado superficial dos pavimentos e a irregularidade longitudinal.

O método de avaliação global aplicado, por exemplo, no SGPOH, tem como objetivo a determinação do valor do PSI (*Presente Serviceability Index*), este determinado tendo em consideração os parâmetros apresentados na Tabela 3.5. O SGPOH usa um método de Sistema de Apoio à Decisão considerando modelos de programação de ações de conservação e reabilitação tendo em ponderação o apresentado no método de dimensionamento de

pavimentos da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Todas as informações inseridas e tratadas neste sistema encontra-se inserida num Sistema de Informação Geográfica.

O Sistema de Gestão da Conservação da EP atual com a aquisição do novo equipamento, o perfilómetro a laser, é capaz de obter todos os parâmetros essenciais para a aplicação da equação que define o Índice de Qualidade dos pavimentos de uma forma automática, apresentando assim uma grande vantagem em termos tempo de aquisição dos mesmos. A utilização do perfilómetro apresenta a grande vantagem de os valores de IRI serem observados e não estipulados a partir de uma tabela qualitativa.

A Equação 3.1 para o cálculo do Índice de Qualidade - IQ foi adotada no sistema de gestão da conservação de pavimentos rodoviários de Lisboa (Pavement Management system for Lisbon, 2004) tendo sido aplicada igualmente no sistema desenvolvido para Oliveira do Hospital (Meneses, et al., 2006). Esta equação tem como base a equação utilizada no SGP do DOT do Nevada (Nevada's Approach to Pavement Management, 1996), que por sua vez deriva da equação desenvolvida para pavimentos flexíveis do ensaio AASHO em 1962 (Trindade, et al., 2010).

$$IQ_t = 5 \times e^{\frac{-0,0002598 \times IRI_t}{4}} - \frac{0,002139}{4} \times R_t^2 - 7 \times 0,03 \times (C_t + S_t + P_t)^{0,5} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

onde:

IRI_t corresponde à irregularidade longitudinal do pavimento no ano t (mm/km);

R_t corresponde à profundidade média das rodeiras no ano t (mm);

C_t corresponde à área com fendilhamento e pele de crocodilo no ano t ($m^2/100m^2$);

S_t corresponde à área de desagregação superficial de materiais (covas e peladas) no ano t ($m^2/100m^2$);

P_t corresponde à área com reparações no ano t ($m^2/100m^2$).

3.4. Dados geográficos para SIG de gestão rodoviária

Para o tratamento da rede rodoviária em SIG é necessário definir os dados que identifiquem os elementos da rede, de uma forma rápida e unívoca.

Para o tratamento da rede é necessário numa fase inicial, um estudo do meio envolvente da mesma, isto de forma a compreender o tipo de observação a realizar e o tipo de vias em estudo.

Neste sentido, a observação dos pavimentos pode ser efetuada por via de tráfego (a zona longitudinal da faixa de rodagem destinada à passagem de uma única fila de veículos), por

faixa de rodagem (conjunto de vias de tráfego de uma estrada preparadas para o trânsito de veículos) ou para a totalidade da largura da estrada (constituída por uma ou mais faixas de rodagem com uma ou mais vias de tráfego em cada sentido), no entanto, a escolha de qual o procedimento a aplicar depende do perfil transversal do trecho em análise.

Se o estudo é realizado em vias urbanas a classificação das mesmas é normalmente realizada com base numa hierarquização funcional. Este agrupa as vias segundo as funções que desempenham, isto em relação a acessibilidade e circulação, existindo desta forma:

- vias de estruturante e
- vias locais.

No entanto, e segundo o *Institute of Highways and Transportation with the Department of Transport* a hierarquia de vias, pode ser apresentada da seguinte forma:

- vias coletoras;
- vias distribuidoras principais;
- vias distribuidoras locais e
- vias de acesso local.

A hierarquização apresentada pelo instituto tem em consideração existirem níveis intermédios entre vias estruturantes e vias locais, neste sentido a seguinte tabela (Tabela 3.6) apresenta as características de cada nível hierárquico.

Tabela 3.6- Classificação das vias urbanas a partir do seu nível hierárquico (adaptado de (Santos, 2002)).

Níveis Hierárquicos Funcionais	Características	Hierarquia das vias	Características
Vias Estruturantes	-garantem as ligações entre diferentes zonas funcionais de um aglomerado urbano, -são vocacionadas para os grandes trajetos que apresentam fluidez de tráfego,	Vias coletoras	- nível mais elevado das vias estruturantes; - vias de grande capacidade de tráfego; - não existe circulação de peões e não é permitido estacionar ao longo da mesma.

Continuação da Tabela 3.6- Classificação das vias urbanas a partir do seu nível hierárquico (adaptado de (Santos, 2002)).

Níveis Hierárquicos Funcionais	Características	Hierarquia das vias	Características
Vias Estruturantes (continuação)	-deseja-se que as mesmas apresentem os máximos níveis de capacidade com níveis de segurança adequados.	Vias distribuidoras principais	<ul style="list-style-type: none"> - nível mais baixo das vias estruturantes; - permitem o estacionamento, cargas e descargas, mas em zonas não críticas para a fluidez do tráfego; - velocidade de circulação na ordem dos 50 Km/h.
Vias Locais	<ul style="list-style-type: none"> -garantem os acessos aos espaços urbanos onde se localizam todas as atividades, garantindo assim a acessibilidade às propriedades, -apresenta qualidade ambiental e de vida elevadas. 	Vias distribuidoras locais	<ul style="list-style-type: none"> - nível mais elevado das vias locais; - permitem o estacionamento e as cargas e descargas em zonas não críticas, no entanto, podendo interferir nas ações de entrada e saída de propriedades; - velocidade de circulação na ordem dos 40 Km/h, de forma a reduzir a ocorrência de gravidade de acidentes.
		Vias de acesso local	<ul style="list-style-type: none"> - nível mais baixo das vias locais, dando acesso direto às edificações e arredores; - estacionamento é normalmente permitido; - velocidade de circulação limitada a 30 Km/h, garantindo assim alguma segurança na circulação dos peões.

No entanto, para definir a rede em estudo é necessário recorrer a sistemas de referência e a métodos de referência, sendo por isso importante esclarecer os dois conceitos.

O sistema de referência baseia-se num conjunto de procedimentos que são utilizados para obter, armazenar e aceder ao registo e localização de pontos de um trecho rodoviário, com base na aplicação e integração de um ou mais métodos de referência. Pretende-se que os sistemas de referência sejam de simples utilização, no entanto, é essencial não existir falhas na precisão e na validade temporal dos dados, ou seja, é necessário ter sempre em consideração as alterações na rede ao longo do tempo, de forma a não comprometer todo o sistema. Nos sistemas de referência, tal como nos sistemas de classificação dos trechos de uma rede, é fundamental existir a possibilidade de alteração das características que definem cada elemento pertencente ao sistema, isto é, ser possível suprimir trechos da rede existentes, juntar novos trechos ou mesmos alterar as características dos já existentes.

Os métodos de referência baseiam-se nas técnicas empregues para a identificação dos pontos ou trechos de uma rede rodoviária, no campo e no laboratório.

A aplicação destes conceitos nos SGCPR prende-se com a necessidade de referenciar no tempo e no espaço, com rigor, a informação que caracteriza a rede em estudo e o estado do pavimento da mesma, sendo esta essencial para a posterior identificação e localização dos trechos em que é necessário intervir.

Para definir a localização de determinado trecho é necessário aplicar um dos métodos de referência existentes, sendo eles os métodos lineares e os métodos espaciais.

O método linear baseia-se na localização do alvo em estudo, com base na sua distância e direção a partir de um objeto/ponto já conhecido. O método espacial define o objeto por coordenadas com base num determinado referencial.

A Tabela 3.7 apresenta as características dos métodos de referência apresentados, isto é, referência linear e espacial para a referência dos trechos. A seguinte tabela apresenta alguns métodos de referência e as suas características.

Tabela 3.7 - Exemplos de métodos de referenciação e respetivas características (Santos, 2002).

Métodos de Referenciação		Características
Lineares	<i>Distance</i>	- baseia-se na definição dos pontos de início e de fim de trecho com determinado atributo.
	<i>Distance Length</i>	- referencia o ponto inicial do trecho através de uma distância, esta pode ser em 3-D (distancia real) ou em 2-D (distancia medida em planta), medida a partir da correspondente entidade; - referencia o ponto final através do comprimento medido em relação ao ponto inicial.
	<i>Know Marker</i>	- referencia o ponto de início e fim do trecho através de distâncias em relação a marcas conhecidas, sendo estas marcas identificadas de forma univoca.
Espaciais	<i>Projected XY</i>	- este método de referenciação não tem em consideração a largura das estradas, pois apenas representa o eixo das mesmas; - apresenta uma tolerância em relação a cada ponto, chamada de raio de ação, sendo esta uma zona circular em volta do ponto em estudo.
	<i>Geographic XY</i>	- referencia os trechos da rede por pares de coordenadas (longitude e latitude); - apresenta também um raio de ação.

Sendo estes métodos aplicáveis não só para a localização dos trechos mas também para a localização das degradações presentes nos mesmos, é importante referir alguns aspetos diferenciadores na aplicação dos dois métodos referidos.

Para o método de referenciação linear recorre-se geralmente a uma observação direta e assistida por um computador, onde este já contém programas informáticos de controlo, aquisição, restituição da informação necessária e um sistema de medição da distância percorrida. Uma das desvantagens deste método de referenciação encontra-se na sua aplicabilidade para a análise em infraestruturas rodoviárias, principalmente quando estas são em meio urbano, isto porque, o mesmo analisa e referencia as ocorrências com base em marcas de referência, podendo estas alterar-se ou mesmo desaparecer ao longo do tempo, tornando assim a informação inútil. No entanto, este método de referenciação apresenta como vantagem o facto de apenas requerer tecnologia simples e económica, quando comparado com outros métodos de referenciação.

De entre os equipamentos que se baseiam no registo de ocorrências com recurso ao método de referenciação linear é possível destacar o VIZIROAD (figura 2.5).

Para as degradações pontuais este tipo de referenciação regista a localização da mesma especificando a direção em que é efetuado o levantamento e a distância ao ponto de referência, no entanto a área de influência da degradação é definida posteriormente com base no nível de gravidade que a mesma se encontra.

Para degradações lineares este tipo de referenciação regista a localização da ocorrência especificando a direção em que é efetuado o levantamento e a distância do ponto inicial e final da ocorrência, sendo a extensão afetada calculada posteriormente.

O método de referenciação espacial requer a utilização do Sistema de Posicionamento Global (GPS) para produzir uma referenciação com base em pelo menos duas coordenadas (x,y), onde geralmente é efetuada uma observação indireta do estado do pavimento.

Neste contexto é importante esclarecer o significado de observação direta e observação indireta. A observação direta é tal como o nome indica, a observação e avaliação no momento da campanha de levantamento, já a observação indireta, baseia-se numa análise com base numa observação em imagens fotográficas ou de vídeo, onde é possível quantificar e avaliar o estado do pavimento em gabinete.

O método espacial localiza no espaço um ponto de forma unívoca, não alterando a sua referência quando existem modificações ao traçado da rede, sendo um aspeto de elevado interesse para futuros projectos. Existe, no entanto, a possibilidade de ocorrerem falhas na localização associadas à utilização do GPS. Uma das maiores desvantagens deste método de referenciação espacial é o facto de o tempo de “estacionamento” no ponto ser relevante para a qualidade da informação obtida do mesmo. Contudo, para as utilizações mais correntes na gestão de pavimentos, a maioria dos equipamentos mais recentes apresentam uma boa localização planimétrica das ocorrências.

A aplicação destes métodos de referenciação conduzem à aplicação de equipamentos com propriedades específicas, neste sentido com base num estudo apresentado pelo Banco Mundial (Bennett, et al., 2006) os tipos equipamentos de referência normalmente utilizados para estes métodos são os apresentados na seguinte tabela (Tabela 3.8).

Tabela 3.8 - Tipos de equipamentos que permitem a aplicação dos distintos métodos de referenciação.

Tipo de equipamento	Equipamento
Equipamento de medição de distâncias digital	Equipamentos de medição de distâncias convencionais
	Equipamentos de medição de distâncias integrado com a recolha de outros dados
Sistema de Posicionamentos Global (GPS)	Sistemas portáteis de GPS
	Sistemas de GPS integrados com sistemas inerciais
Registo video	Imagem analógica
	Imagem digital

4. Implementação da Base de Dados de Patologias para a Avaliação da Qualidade de Pavimentos Rodoviários com recurso a GPS, imagem vídeo e SIG - Caso de estudo

4.1. Metodologia

Para a elaboração da base de dados de patologias para a avaliação da qualidade de pavimentos rodoviários, recorreu-se inicialmente a um procedimento de levantamento da informação necessária com base numa análise das degradações presentes no pavimentos por inspeção visual realizada a pé e assistida por um computador portátil, GPS incorporado e programa SIG e, posteriormente, a uma inspeção com o sistema GVD que incorpora GPS e a captação de imagem georreferenciada. Estas duas inspeções são efetuadas com a utilização de uma base de dados, desenvolvida de acordo com a finalidade a que se destina (avaliação da qualidade dos pavimentos).

Neste sentido é importante referir que no desenvolvimento da base de dados foi considerado um catálogo de degradações, este também elaborado para o estudo em causa e que tem como finalidade garantir uma homogeneidade nas fases de inspeção da rede em estudo e de tratamento de dados de imagem, servindo de documento de apoio para a determinação e quantificação em termos de níveis de gravidade das degradações presentes nos pavimentos.

Depois de desenvolvida a base de dados, realizou-se numa primeira fase a campanha de inspeção visual a pé para a rede em estudo. Esta campanha foi efetuada com o auxílio de um computador portátil com um GPS incorporado e o programa ArcPad 10 instalado. Este programa, que faz parte da linha ArcGis, possibilita a partir da definição da estrutura e campos de registo de uma base de dados, introduzir de forma simples e georreferenciada os dados pertinentes para a caracterização do estado dos pavimentos da rede em estudo. Após a conclusão da campanha de inspeção visual a pé, e sendo o objetivo aferir o Índice de Qualidade (IQ) dos pavimentos, é necessário proceder ao tratamento dos dados, utilizando algumas das potencialidades das folhas de cálculo do Microsoft Excel (Microsoft, 2009), paralelamente com as potencialidades existentes no ArcMap 10 (ESRI, 2010).

A determinação do IQ através da aplicação da Equação 3.1, é também o objetivo da inspeção realizada com o sistema GVD. Na realização da inspeção segundo o sistema GVD, a base de dados é preenchida numa fase posterior à recolha das imagens, isto é, num fase posterior da campanha de levantamento, sendo necessário em gabinete, proceder ao tratamento das

imagens obtidas na campanha de levantamento, georreferenciando-as de forma a ser possível a sua observação no ArcMap 10, que faz parte também da linha do ArcGis. Todo o processo de identificação e quantificação das degradações, neste método é semelhante ao procedimento efetuado pelo método de inspeção visual a pé. A diferença entre estes dois métodos está na forma de observar as patologias presentes nos pavimentos da rede em estudo.

O facto de se aplicar dois métodos diferentes para a recolha da informação que permitirá a determinação do IQ prende-se com a possibilidade de, validar a fiabilidade dos resultados provenientes do sistema GVD, validando também a aplicação do mesmo método para casos de estudo semelhantes. Todo o sistema foi pensado com o objetivo de desenvolver uma solução de custo reduzido face às soluções já existentes, sendo também um método que permite campanhas de recolha de dados com duração reduzida, isto porque, se realiza a uma velocidade de aproximadamente 20 Km/h, interferindo de forma pouco significativa com a circulação do tráfego (em meio urbano). A identificação e quantificação das degradações são neste método realizadas em gabinete, apresentando também a grande vantagem de permitir uma visualização das imagens obtidas, o número de vezes necessárias a uma correta identificação e análise.

Todos os dados obtidos pelos dois métodos são tratados nos SIG, permitindo desta forma uma visualização e análise global do estado da rede em estudo, com a possibilidade de uma visualização da informação em forma de mapas que facilitam desta forma a interpretação do estado da mesma. O fluxograma da Figura 4.1 apresenta a sequência de operações a realizar desde as campanhas de levantamento até à obtenção dos valores do IQ e sua representação.

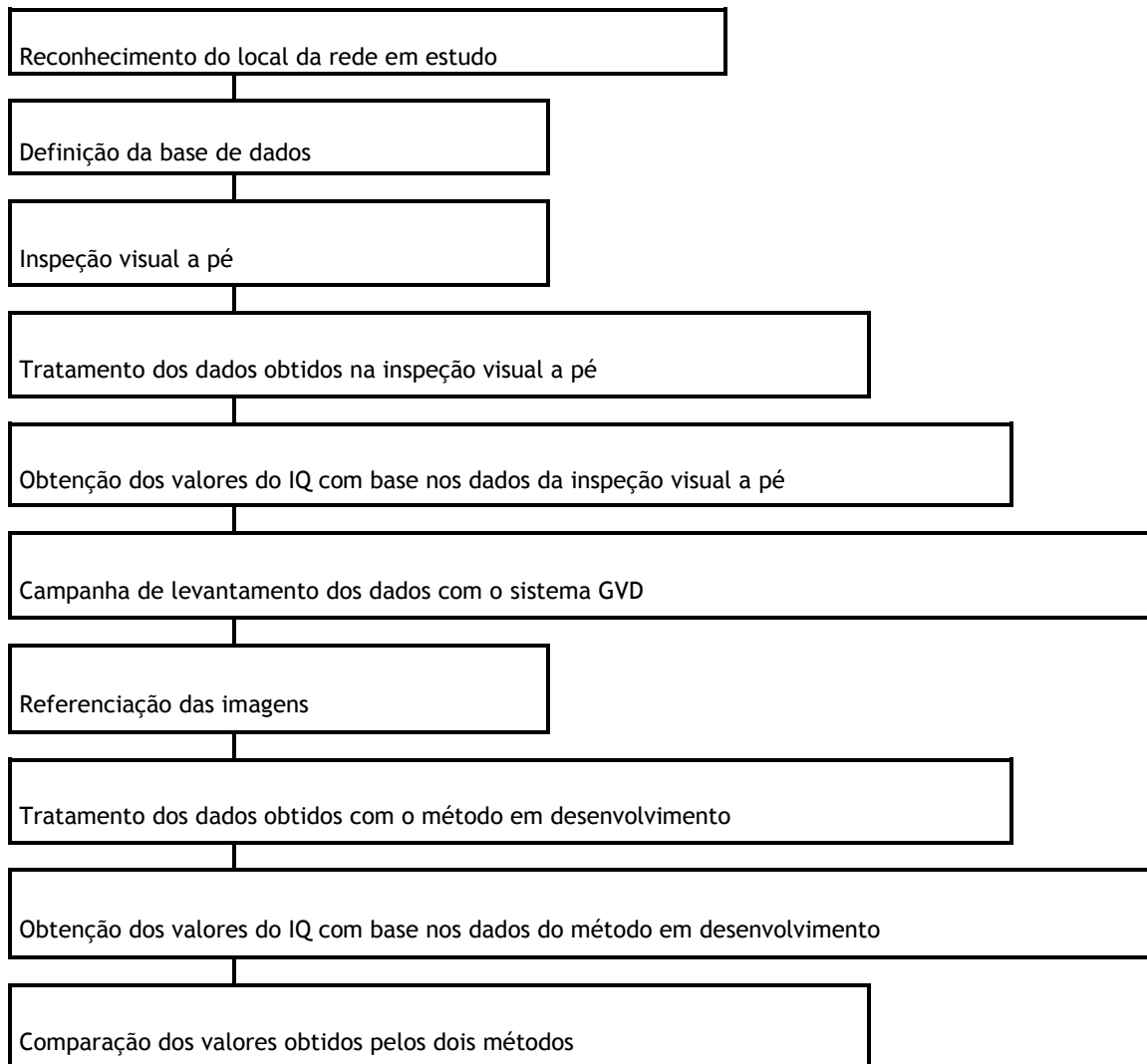


Figura 4.1 - Fluxograma das operações realizadas para a determinação e representação do IQ na rede em estudo.

4.2. Definição do Catálogo e da Base de Dados de Patologias

A base de dados para o estudo proposto foi estruturada de forma a ser de fácil aplicação e com a recolha apenas da informação necessária para o estudo em causa. A mesma foi aplicada no programa ArcPad da *Environmental Systems Research Institute* (ERSI, 2006). O ArcPad é uma ferramenta móvel projetada para as organizações que pretendem expandir os benefícios dos SIG para trabalhos no campo, sendo possível criar, editar e utilizar dados em campo, fazer recolha e o mapeamento dos dados, incluindo recursos SIG e GPS avançados, tornando rápida e eficiente a recolha, edição e visualização de dados geográficos (ArcPad, 2006).

As principais potencialidades do ArcPad são:

- Permitir a recolha de dados, podendo criar, editar, analisar e exibir dados vetoriais e imagens *raster*;
- Publicar os projetos noutras extensões do *ArcGIS*;
- Possibilitar a integração com hardware externo, isto é, suporta diversos dispositivos de campo, tais como recetores GPS e câmaras digitais integradas.

A Base de Dados de Patologias para a avaliação da qualidade dos pavimentos rodoviários (BDPaq) aplicada no ArcPad considerou uma shapefile para cada degradação (fendilhamento, covas, peladas, pele de crocodilo, reparações e rodeiras).

Para cada shapefile foram elaboradas tabelas de atributos considerando os seguintes campos para registo da informação:

- *degradação*, campo do tipo texto com extensão 20. Este campo apenas é considerado numa fase de tratamento de dados, sendo numa fase de levantamento de dados um campo livre sem necessidade de inserir informação.
- *trecho_id*, campo do tipo texto com extensão 10. Este campo é de conteúdo limitado e de preenchimento obrigatório, tendo como opções os trechos em estudo (R0,R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7,T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7).
- *Sentido*, campo do tipo texto com extensão 10. Neste campo é registado o sentido do levantamento, sendo por isso de preenchimento obrigatório e limitado, tendo como opção o sentido O-E (Oeste-Este), sentido 1 e o sentido E-O (Este-Oeste), sentido 2.
- *N_Gra* (nível de gravidade), campo do tipo numérico com extensão 10. Este campo é de preenchimento obrigatório e limitado a 3 opções: 1,2 ou 3, sendo estes 3 algarismos representativos dos níveis de gravidade existentes na avaliação das degradações.
- *P_inicio*, campo do tipo verdadeiro/falso (true/false). Este campo é importante para as degradações que se apresentam de uma forma linear, facilitando assim o conhecimento do seu ponto inicial, considerando verdadeiro (true) e do seu ponto final, considerando falso (false). Para as degradações pontuais, neste campo nada é considerado, admitindo sempre falso (false).
- *Obs* (observações), este campo é do tipo texto com extensão 50. Existe para quando é necessário introduzir alguma informação que se considere importante nas fases de levantamento, tratamento ou interpretação de dados.

A Figura 4.2 apresenta um exemplo em que se pode observar como é criado o campo *degradação*.

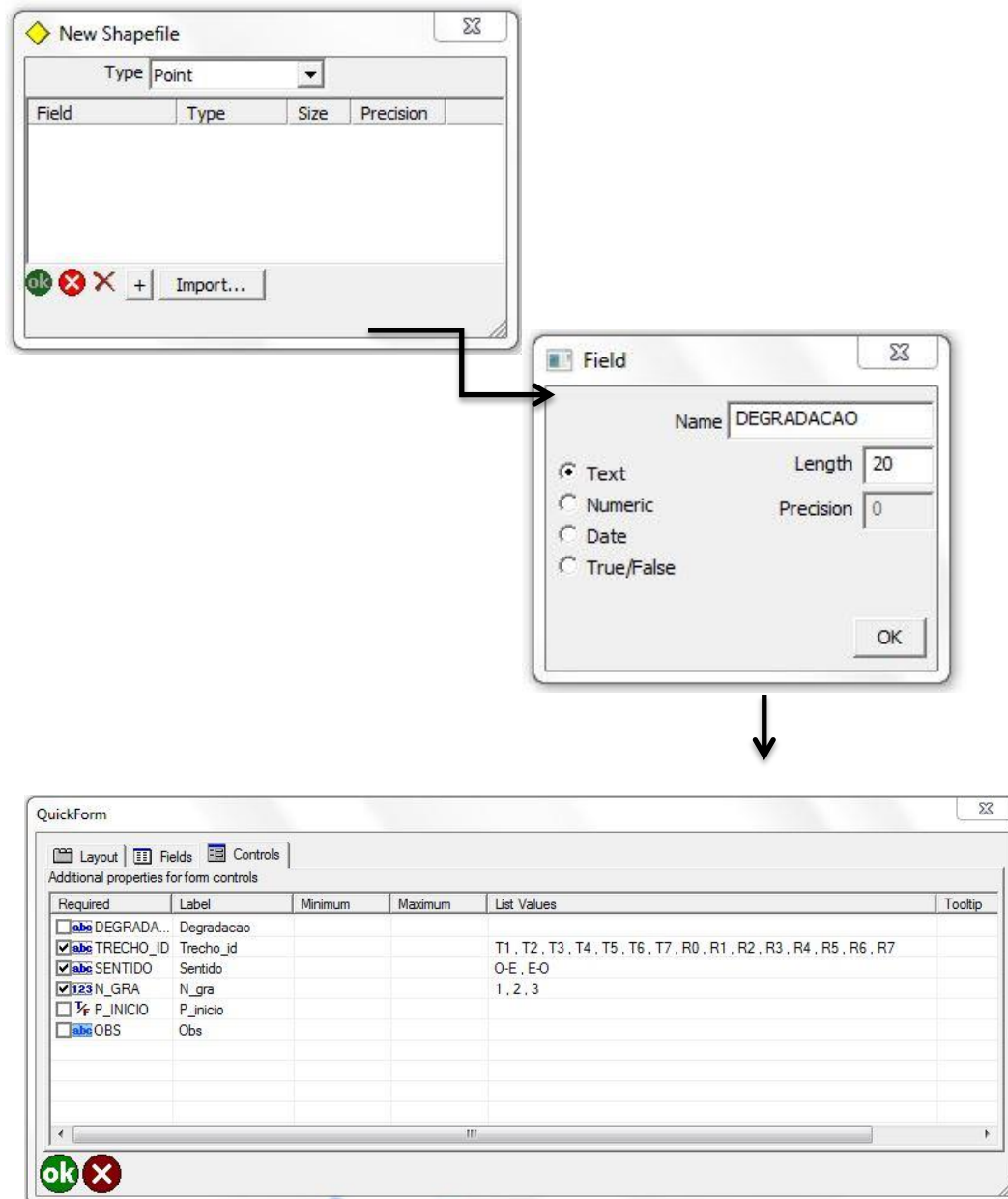


Figura 4.2 - Aspeto visual da elaboração das *Shapefiles* e da criação dos campos de registo no ArcPad.

É importante referir que numa fase inicial se considerou uma *shapefile* denominada por “Ocorrências”. Esta *shapefile* tem como finalidade a inserção de informação extra, como por exemplo a localização de paragens de autocarro, linhas de paragem de rotunda, semáforos, passadeiras, entradas e saídas da via principal, tampas de saneamento, sumidouros, sensores e outros, sendo os “outros” o código utilizado quando nenhuma das opções anteriores se aplica colocando nas observações da *shapefile* a descrição conveniente para uma correta caracterização da ocorrência em causa. A estruturação desta *shapefile* foi semelhante às anteriores, existindo um campo “ocorrência” onde a informação a seleccionar, são as opções

referidas, estando a sua localização (trecho_id e sentido) configurada da mesma forma. No entanto, nesta shapefile não existe um campo para a determinação do nível de gravidade, devido ao facto de o mesmo não ser necessário para este tipo de ocorrências. Contudo, esta *shapefile* apenas foi útil posteriormente, numa fase de tratamento da rede, isto porque se utilizou as informações nela consideradas, como por exemplo, a linha de paragem de rotunda ou as passeadeiras, como para confrontar os dados obtidos pelo outro método de inspeção.

Para a determinação das degradações desenvolveu-se um Catálogo de Degradações organizado em tabelas (Tabelas 4.1 a 4.8). Cada tabela corresponde a um tipo de degradação, apresentando para cada uma delas:

- uma definição,
- como deve ser considerada a sua localização;
- aspetos a observar;
- classes de gravidade (limites e imagens ilustrativas);
- causas possíveis para o seu aparecimento e
- possível evolução.

Para a elaboração deste catálogo considerou-se como principais referencias, os catálogos aplicados no SGP de Lisboa (Pavement Management system for Lisbon, 2004), no SGP de Oliveira do Hospital (Meneses, et al., 2006) e na EP, S.A. (Trindade, et al., 2010). No entanto, na ponderação de alguns aspetos, em termos de limites a considerar no catálogo, foi essencial ter em ponderação os objetivos inicialmente propostos, isto é, ser aplicável para um sistema que recorre à utilização de equipamentos de custo reduzido.

Tabela 4.1 - Descrição da degradação do tipo: Fendilhamento.



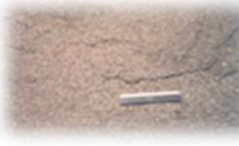
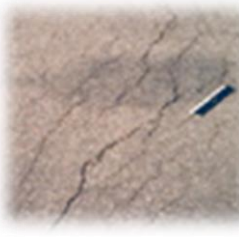
		Fendilhamento	
			
Definição da degradação		<p>Aparecimento de fendas pela aplicação repetida de esforços de tração devido à passagem dos veículos.</p> <p>Fendas irregulares localizadas na zona de aplicação das cargas, inicialmente desenvolvendo-se na direção transversal e irregulares.</p>	
Localização		Extensão linear do trecho afetado, em metros.	
Aspetos a observar		<p>Tipo de fenda: isolada ou ramificada.</p> <p>Estado das fendas em relação à abertura dos bordos, em milímetros.</p>	
Classes de Gravidade	1	Fendas isoladas com abertura inferior a 2 mm.	
	2	Fendas longitudinais ou transversais abertas e/ou ramificadas. Abertura compreendida entre os 2 e os 4 mm.	
	3	Fendas ramificadas com abertura superior a 4 mm.	
Causas possíveis		<ul style="list-style-type: none"> -Fadiga das camadas betuminosas; -Falta de capacidade de suporte das camadas granulares e do solo de fundação; -Camada da superfície com qualidade deficiente dos materiais; -Má execução das juntas de construção da camada superior; -Utilização de materiais de baixa qualidade na realização das misturas betuminosas. 	
Possível evolução		- Aumento e expansão progressiva das fendas dando origem a degradações do tipo pele de crocodilo.	

Tabela 4.2 - Descrição da degradação do tipo: Pele de Crocodilo.





		Pele de Crocodilo	
Definição da degradação		<p>Resulta da evolução das fendas ramificadas, sendo constituída por fendas interligadas formando uma malha de diferentes formas geométricas e angulares. Apresenta-se nas áreas onde ocorrem mais ciclos de aplicação de carga, abrangendo progressivamente toda a largura das vias.</p>	
Localização		Extensão linear do trecho afetado, em metros.	
Aspetos a observar		Estado das fendas em relação à largura da malha e à abertura e desagregação dos bordos.	
Classes de Gravidade	1	Fendas com abertura inferior a 2 mm e uma malha superior a 20 cm.	
	2	<p>Fendas com abertura inferior a 2mm e uma malha inferior a 20cm.</p> <p>Fendas com abertura entre 2 a 4 mm.</p> <p>Fendas com abertura superior a 4mm e uma malha superior a 40cm.</p> <p>Bordos ligeiramente degradados.</p>	
	3	<p>Fendas com uma abertura superior a 4mm e uma malha inferior a 40cm.</p> <p>Desagregação dos bordos, podendo existir peças soltas que se movimentam com a passagem dos veículos.</p>	
Causas possíveis		<p>-As mesmas que as apresentadas para o fendilhamento, já que constitui uma evolução desta degradação.</p> <p>-Ausência de conservação preventiva.</p>	
Possível evolução		<p>-Redução da capacidade de suporte do solo de fundação e do desempenho das camadas granulares, originando maiores esforços de tração por flexão nas camadas betuminosas.</p> <p>-Evolução de malha larga para malha estreita, de fendas fechadas para fendas abertas e desagregação dos bordos das fendas.</p> <p>-Penetração de água, favorecendo o enfraquecimento das camadas subjacentes e a ocorrência do fenómeno de bombagem.</p> <p>-Desprendimento de placas dando origem a ninhos ou covas.</p>	

Tabela 4.3 - Descrição da degradação do tipo: Covas (ninhos).

		Covas (ninhos)	
Definição da degradação		Cavidades de forma arredondada, com profundidade e largura variável, presentes na camada superficial do pavimento (camada de desgaste), podendo atingir as camadas inferiores. Resultam da evolução de outras degradações (pele de crocodilo, deformações localizadas ou perda de agregado da camada de desgaste).	
Localização		Quando isolada, localização pontual. Extensões de covas próximas devem ser localizadas de forma linear, em metros.	
Aspetos a observar		Profundidade máxima da cavidade.	
Classes de Gravidade	1	Cavidade com profundidade máxima inferior a 2cm.	
	2	Cavidade com profundidade máxima compreendida entre os 2 e os 4 cm.	
	3	Cavidade com profundidade máxima superior a 4 cm.	
Causas possíveis		<ul style="list-style-type: none"> -Evolução de outras degradações (ex: pele de crocodilo, deformações localizadas). -Imperfeições locais das camadas de desgaste ou de base (má qualidade de fabrico ou colocação). -Zona localizada com deficiente capacidade de suporte. -Alteração da qualidade dos materiais utilizados nas misturas betuminosas. -Ponto de junção de vários tipos de degradações. 	
Possível evolução		<ul style="list-style-type: none"> -Desprendimento de materiais. -Aumento da profundidade e da área afetada. -Formação de novas covas. 	

Tabela 4.4 - Descrição da degradação do tipo: Peladas.





		Peladas	
Definição da degradação		Descolagem de placas da camada superior do pavimento (camada de desgaste) em relação à camada subjacente.	
Localização		Quando isolada, localização pontual. Extensões de peladas próximas devem ser localizadas de forma linear, em metros.	
Aspetos a observar		Largura da degradação.	
Classes de Gravidade	1	Peladas com uma largura inferior a 30 cm.	
	2	Peladas com uma largura compreendida entre os 30 e os 100 cm.	
	3	Peladas com uma largura superior a 100 cm.	
Causas possíveis		<ul style="list-style-type: none"> -Ligação deficiente entre a camada de desgaste e a camada subjacente. -Subdimensionamento da camada de desgaste. -Condições severas de aplicação de cargas (elevados esforços tangenciais). -Falta de estabilidade da camada de desgaste. -Ações climáticas desfavoráveis (temperaturas elevadas), utilização de materiais de baixa qualidade e deficiências de fabrico e execução. 	
Possível evolução		<ul style="list-style-type: none"> -Desprendimento de materiais. -Aumento da área afetada. -Formação de covas. 	

Tabela 4.5 - Descrição da degradação do tipo: Deformações Localizadas.





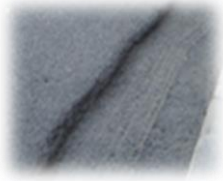
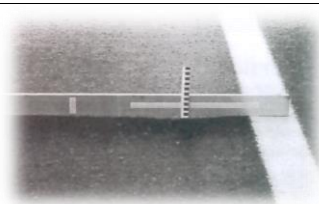


		Deformações Localizadas	
Definição da degradação	Alteração do nivelamento do pavimento, presença de depressões, podendo surgir isoladamente ou em diferentes pontos do pavimento.		
Localização	Quando isolada, localização pontual. Extensões com deformações localizadas próximas devem ser localizadas de forma linear, em metros.		
Aspetos a observar	Alterações na camada superior do pavimento com registo da profundidade da anomalia em mm.		
Classes de Gravidade	1	Depressão com uma profundidade inferior a 20mm.	
	2	Depressão com uma profundidade compreendida entre os 20 e os 40mm.	
	3	Depressão com uma profundidade superior a 40mm.	
Causas possíveis	<ul style="list-style-type: none"> -Capacidade insuficiente em zonas pontuais das camadas granulares; -Falta de capacidade de suporte do solo de fundação; -Compacidade insuficiente das camadas estruturais do pavimento associada à ação do tráfego intenso e condições climáticas severas. -Contaminação localizada das camadas inferiores (camadas granulares); -Falta de drenagem devido a ausência ou rotura dos órgãos de drenagem. 		
Possível evolução	-Evolução progressiva da depressão, contribuindo para o aparecimento de fendilhamento, pele de crocodilo e ninhos, podendo ser acompanhado de subida de finos (quando a drenagem é deficiente).		

Tabela 4.6- Descrição da degradação do tipo: Rodeiras.

		Rodeiras	
			
Definição da degradação			
Localização		Extensão linear do trecho afetado, em metros.	
Aspetos a observar		Presença de deformações no perfil transversal do pavimento ao longo de uma extensão, com registo da profundidade máxima da rodeira em mm.	
Classes de Gravidade	1	Profundidade máxima da rodeira inferior a 10mm.	
	2	Profundidade máxima da rodeira compreendida entre os 10 e os 30mm.	
	3	Profundidade máxima da rodeira superior a 30mm.	

Continuação da Tabela 4.6 - Descrição da degradação do tipo: Rodeiras.

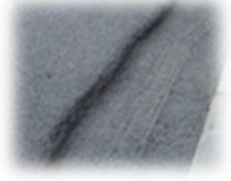




	<p>Rodeiras</p>
<p>Causas possíveis</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Deficiência de compactação das camadas estruturais que constituem o pavimento, associada à ação de tráfego intenso e condições climáticas severas. -Deficiente capacidade de suporte do solo de fundação. -Utilização de materiais de baixa qualidade, em particular na camada de desgaste. -Resistência insuficiente à deformação das misturas betuminosas, em especial em situações de tráfego pesado, lento, canalizado e temperaturas elevadas.
<p>Possível evolução</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Aumento gradual da profundidade das rodeiras. -Aparecimento de outros tipos de degradações (ex. fendilhamento longitudinal). -Aparecimento de cordões laterais longitudinais de ligante da camada de desgaste devido à fluência do material - exsudação (no caso das rodeiras de pequeno raio).

Tabela 4.7 - Descrição da degradação do tipo: Irregularidade Longitudinal.

 <p style="text-align: right; margin-right: 5px;">*</p>	<p>Irregularidade Longitudinal</p>
<p>Definição da degradação</p>	<p>Caracteriza-se por um desvio entre o perfil longitudinal realizado e o perfil longitudinal de projeto, neste sentido, corresponde a um defeito geométrico medido ao nível da camada de desgaste, com comprimentos de onda superiores a 0,5 metros.</p>
<p>Localização</p>	<p>Extensão linear do trecho afetado, em metros.</p>





*Imagens ilustrativas pouco nítidas devido à dificuldade inerente de visualizar a Irregularidade Longitudinal sem equipamento específico

Continuação da tabela 4.7 - Descrição da degradação do tipo: Irregularidade Longitudinal.

		Irregularidade Longitudinal	
Aspetos a observar		Observação das degradações presentes na superfície dos pavimentos, para classificação da irregularidade longitudinal de forma indireta, considerando para a sua determinação as classes de gravidade das seguintes degradações: fendilhamento, pele de crocodilo, peladas, covas e rodeiras.	
Classes de Gravidade	1	Fendilhamento ≤ 1 e Pele de Crocodilo ≤ 1 e Peladas ≤ 1 e Covas ≤ 1 e Rodeiras ≤ 1	 *
	2	Situações não enquadráveis nas definições dos níveis 1 e 3.	 *
	3	Fendilhamento =3 e Pele de Crocodilo =3 <i>Ou</i> Peladas =3 e Covas =3 e Rodeiras ≥ 2	 *
Causas possíveis		<p>-Consolidação dos materiais da fundação dos pavimentos, dando origem a ondas de amplitude elevada e de baixa frequência;</p> <p>-Evolução normal da deformação permanente dos pavimentos devido à passagem das cargas;</p> <p>- Deformações causadas pela variação da humidade e da temperatura nas camadas e fundação do pavimento;</p> <p>-Num pavimento novo - falta de controlo de qualidade no processo de pavimentação, incluindo a preparação das camadas de base e sub-base e o desgaste do equipamento de pavimentação.</p>	
Possível evolução		-Aumento gradual do fenómeno com possível aparecimento de outros tipos de degradações.	

*Imagens ilustrativas pouco nítidas devido à dificuldade inerente de visualizar a Irregularidade Longitudinal sem equipamento específico

Tabela 4.8 - Descrição da degradação do tipo: Reparações.

		<p>Reparações</p>	
<p>Definição da degradação</p>		<p>Reparações visíveis na camada superior do pavimento (camada de desgaste). Constituem em geral um ponto fraco do pavimento ao nível estrutural ou funcional.</p>	
<p>Localização</p>		<p>Quando isolada, localização pontual. Extensões com reparações muito próximas devem ser consideradas de forma linear, em metros.</p>	
<p>Aspetos a observar</p>		<p>Qualidade de execução da reparação e das juntas.</p>	
<p>Classes de Gravidade</p>	<p>1</p>	<p>Reparações bem executadas.</p>	
	<p>2</p>	<p>Reparações com baixa qualidade de execução e má elaboração das juntas.</p>	
	<p>3</p>	<p>Reparações mal executadas.</p>	
<p>Causas possíveis</p>		<p>Todas as degradações apresentadas anteriormente.</p>	
<p>Possível evolução</p>		<p>Se reparação corrige a causa e o defeito definitivamente, a degradação foi saneada. Se reparação corrige o defeito, mas não elimina a causa, ocorre o reaparecimento da degradação no mesmo local ou nas suas proximidades.</p>	

Todas estas tabelas apresentadas são indispensáveis na avaliação da qualidade do pavimento, garantindo a homogeneidade da identificação e atribuição dos níveis de gravidade das degradações na inspeção visual a pé e na inspeção com o sistema GVD.

4.3. Definição da rede rodoviária

O caso em estudo localiza-se em Portugal, no distrito de Castelo Branco na cidade da Covilhã, correspondendo ao eixo viário que liga o centro urbano à Variante à EN 18, conforme se apresenta na Figura 4.3. O perfil transversal é constituído por duas faixas de rodagem com duas vias cada e separador central. O comprimento total da rede em estudo é de aproximadamente 6 quilómetros, sendo estes divididos em dois sentidos, Oeste-Este (representado na Figura 4.3 a cor azul) e Este-Oeste (representado na Figura 4.3 a cor roxo).

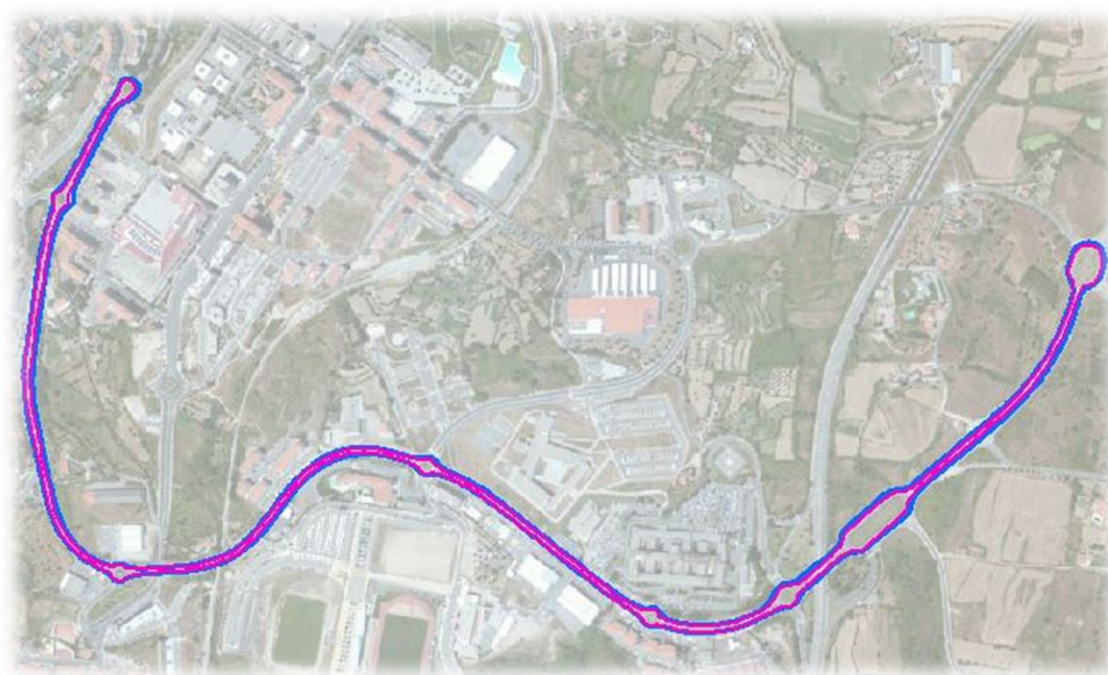


Figura 4.3 - Localização da rede em estudo

Para a definição da rede em estudo recorreu-se a duas formas, por um lado, para a aplicação dos dados provenientes da inspeção visual a pé, a rede foi definida com base na imagem *raster* disponibilizada no *Google Earth* (Google, 2013), por outro lado, para o levantamento com o sistema GVD utilizou-se para a definição da rede os dados obtidos nas campanhas de levantamento. Neste sentido o método de referenciação aplicado é método de referenciação espacial.

Os dados obtidos pelo GPS foram armazenados em folhas de texto, as mesmas facilmente transferidas para folhas de cálculo *Microsoft Excel* e posteriormente adicionadas no programa ArcMap 10 para projeção dos dados no sistema de coordenadas escolhido, que neste caso foi o ETRS 1989 Portugal TM06. Todos os dados de localização provenientes do GPS são do tipo pontos, cuja ligação permite a definição da rede rodoviária em análise, tendo sido posteriormente seccionada em trechos com características homogéneas.

No entanto, sendo a definição da rede distinta para os dois métodos, foi necessário validar a comparação entre ambos neste processo de definição de rede. Neste sentido, a seguinte figura (Figura 4.4) apresenta uma sobreposição da rede definida pelas duas formas, onde é possível verificar uma correspondência/sobreposição de dados bastante satisfatória.



Definição da rede para a inspeção visual a pé

Definição da rede para a inspeção com o sistema GVD

Figura 4.4 - Comparação entre a definição da rede utilizada na inspeção visual a pé e a definição com base nos dados GPS do sistema GVD.

Inicialmente, no seccionamento da rede em estudo considerou-se o critério divisão com base na localização das rotundas, separando trechos entre rotundas e trechos coincidentes com as rotundas. Neste sentido obteve-se 8 subsecções coincidentes com as rotundas e 7 subsecções entre as mesmas, conforme é ilustrado na Figura 4.5, perfazendo um total de 15 trechos em análise por sentido.

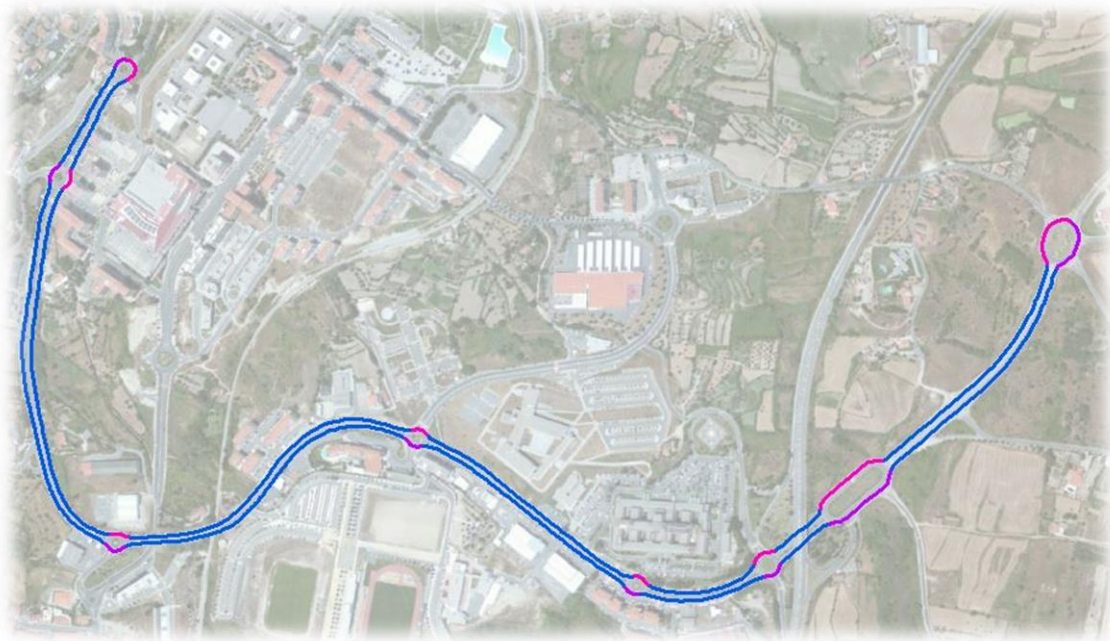


Figura 4.5 - Divisão inicial da rede em estudo.

Depois de um reconhecimento mais cuidado ao local em estudo, foi possível concluir que existe uma maior incidência de degradações nas rotundas e nas suas proximidades. Assim sendo, para garantir subsecções homogêneas e tendo como objetivo a determinação IQ, de uma forma fidedigna e corretamente representativa do local, alterou-se a configuração do seccionamento, conforme é apresentado na Figura 4.6, considerando, com base no reconhecimento efetuado no local, que a área envolvente de influência é de 40 metros para o exterior das rotundas.

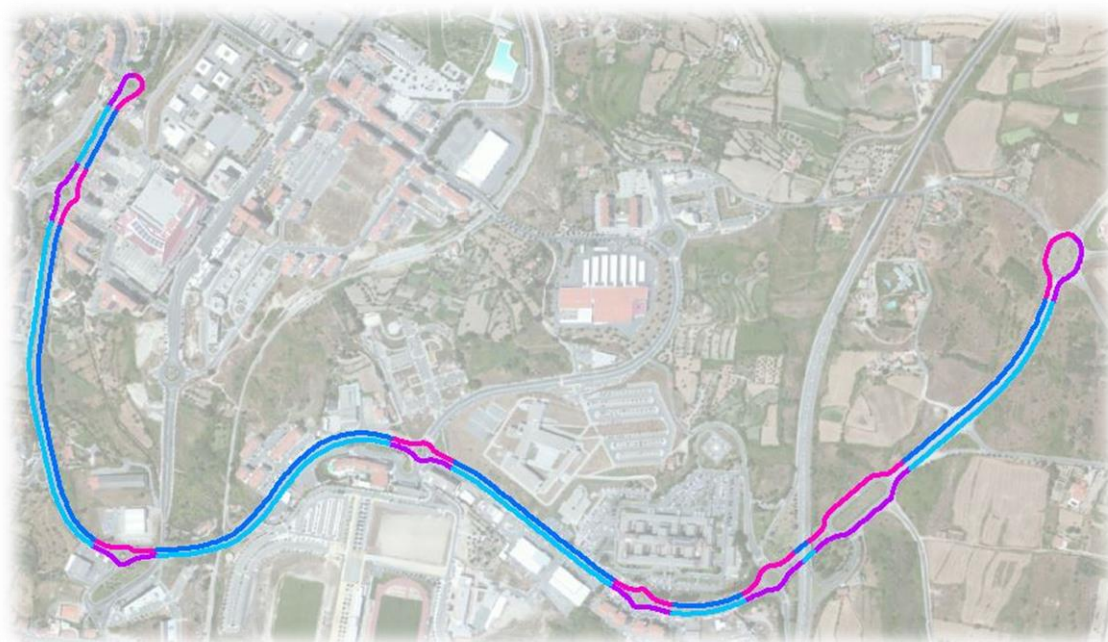


Figura 4.6 - Definição da divisão final da rede em estudo.

Na definição da rede é importante que cada trecho seja identificado univocamente, de forma a existir um dado identificador comum em todas as tabelas que permita a ligação entre a informação recolhida (degradações), registada em várias tabelas. Neste contexto, a identificação dos trechos foi considerada da seguinte forma:

- 1º carácter: Letra R ou T representa o tipo de trecho, isto é, “R” se o trecho corresponde a um dos coincidentes com as rotundas ou “T” se o trecho corresponde a uma seção entre duas rotundas;
- 2º carácter: Números compreendidos entre 0 a 7, conforme o aparecimento do trecho segundo o sentido 1 (Oeste-Este) e o seu tipo;
- “_” (traço), para separar o número do trecho do seu sentido;
- 3º carácter: Número 1 ou 2, para definir o sentido, sendo o sentido1 Oeste-Este e o sentido2 Este-Oeste.

Desta forma e a título de exemplo, R0_1 é o primeiro trecho de rotunda com área envolvente (num raio de 40 metros) visualizado no sentido 1, sendo identificado como R0_2 quando é percorrido no sentido 2.

Os trechos têm comprimentos e larguras das faixas de rodagem e das vias variáveis, sendo o trecho de maior extensão o “T2”, com aproximadamente 577 metros e o de menor extensão o “T6” com apenas 21 metros de extensão. As larguras das faixas de rodagem variam entre os 6,60 metros e os 9,70 metros e a largura das vias entre 3,30 metros e os 4,85 metros, apresentando os maiores valores em rotunda.

Depois da rede definida, independentemente do método aplicado, se com base na imagem *raster* ou com base nos dados GPS obtidos, é essencial a criação de routes, uma para cada sentido. As routes permitem fazer uma referência linear da informação a rede em estudo e conseqüentemente sobre as degradações nela presentes, sendo este aspeto essencial para o tratamento posterior dos dados.

4.4. Levantamento e tratamento de dados

Depois de elaborada a base de dados de patologias para a avaliação da Qualidade dos Pavimentos Rodoviários e de definida a rede em estudo, o levantamento e tratamento dos dados foi realizado segundo o seguinte conjunto de fases:

- 1) Inspeção da rede em estudo por observação visual efetuada a pé, com identificação das degradações presentes, avaliação dos respetivos níveis de gravidade e, com base no tratamento desses dados, determinação do Índice de Qualidade dos Pavimentos (IQ);
- 2) Inspeção da rede em estudo com o sistema GVD, que recorre à utilização de GPS e equipamento de captação de imagem vídeo, tratamento dos dados recolhidos e determinação do Índice de Qualidade dos Pavimentos (IQ).

O seguinte fluxograma (Figura 4.7) apresenta os passos que constituem o tratamento dos dados até à determinação e representação do IQ para os dois métodos. É possível com base no fluxograma verificar os passos em comum com os dois métodos e perceber o que os distingue, sendo no entanto a principal diferença a forma de observar as degradações e o tempo que demora o respetivo processo de determinação e quantificação das mesmas, para além do aspeto da subjetividade associado à possibilidade de visualizar as imagens posteriormente, as vezes que se considerarem oportunas.

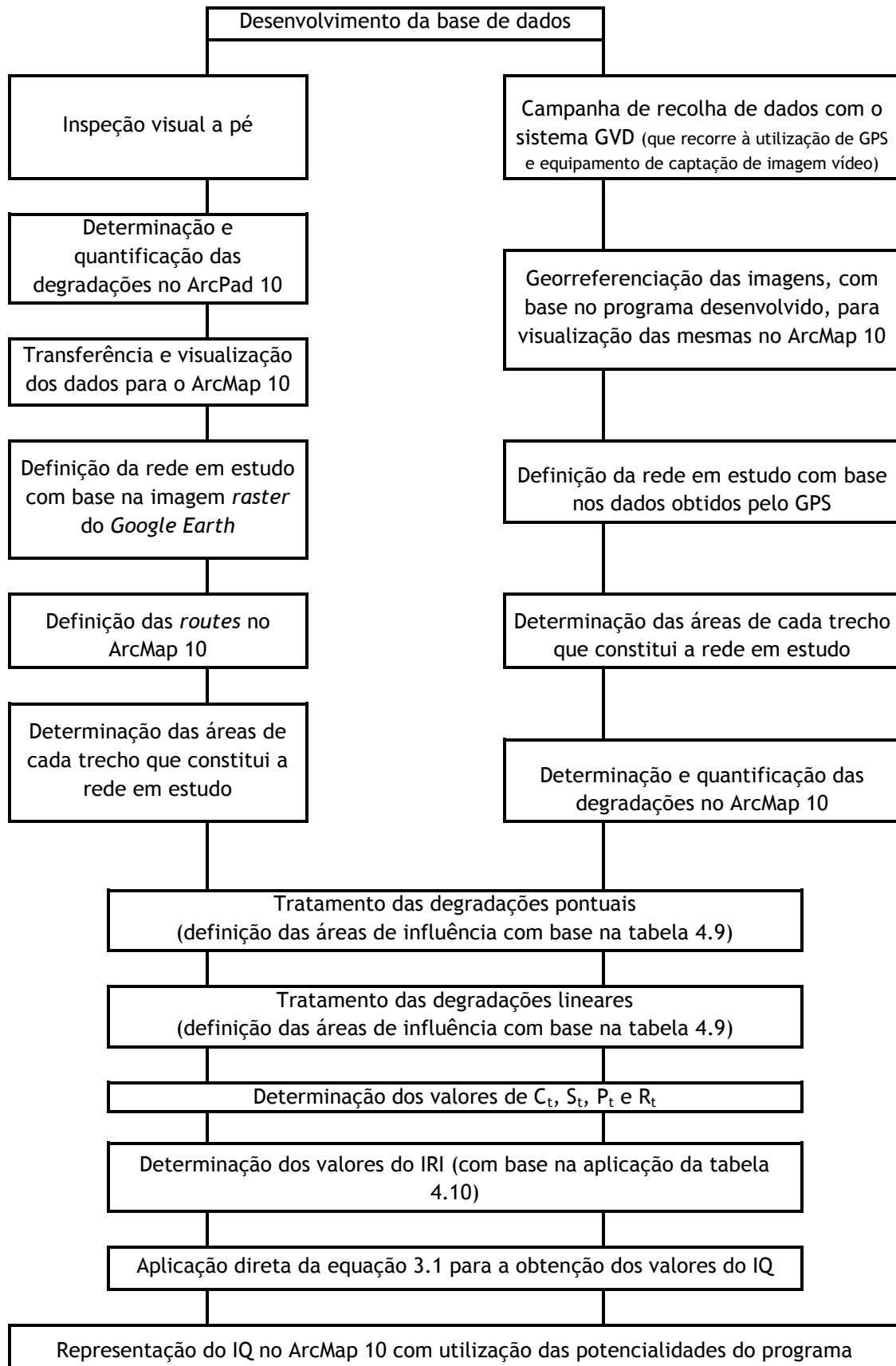


Figura 4.7 - Fluxograma dos passos para a determinação dos valores do IQ e sua representação.

4.4.1. Inspeção visual realizada a pé

Com o auxílio de um computador portátil, com GPS incorporado e de um sistema de informação geográfica móvel que permite a recolha de dados no campo, o ArcPad 10 (ERSI , 2006), foi possível proceder ao levantamento a pé das degradações presentes na rede em estudo.

A inspeção visual a pé foi realizada da seguinte forma: o operador deve desloca-se pela rede em estudo, sobre o passeio, de forma a garantir a segurança do operador e a não interferência com a circulação do tráfego, registando a ocorrência das degradações de uma forma perpendicular em relação ao sentido de levantamento, conforme se apresenta na seguinte Figura 4.8.



Figura 4.8 - Exemplo da operação de recolha de informação na inspeção visual a pé com recurso a computador portátil com GPS incorporado.

Esta operação permite que a informação seja inserida no local de levantamento diretamente nos campos predefinidos, sendo a posição geográfica registada em simultâneo. A Figura 4.9 apresenta um exemplo de registo com visualização da informação referente às degradações, já inserida no sistema.

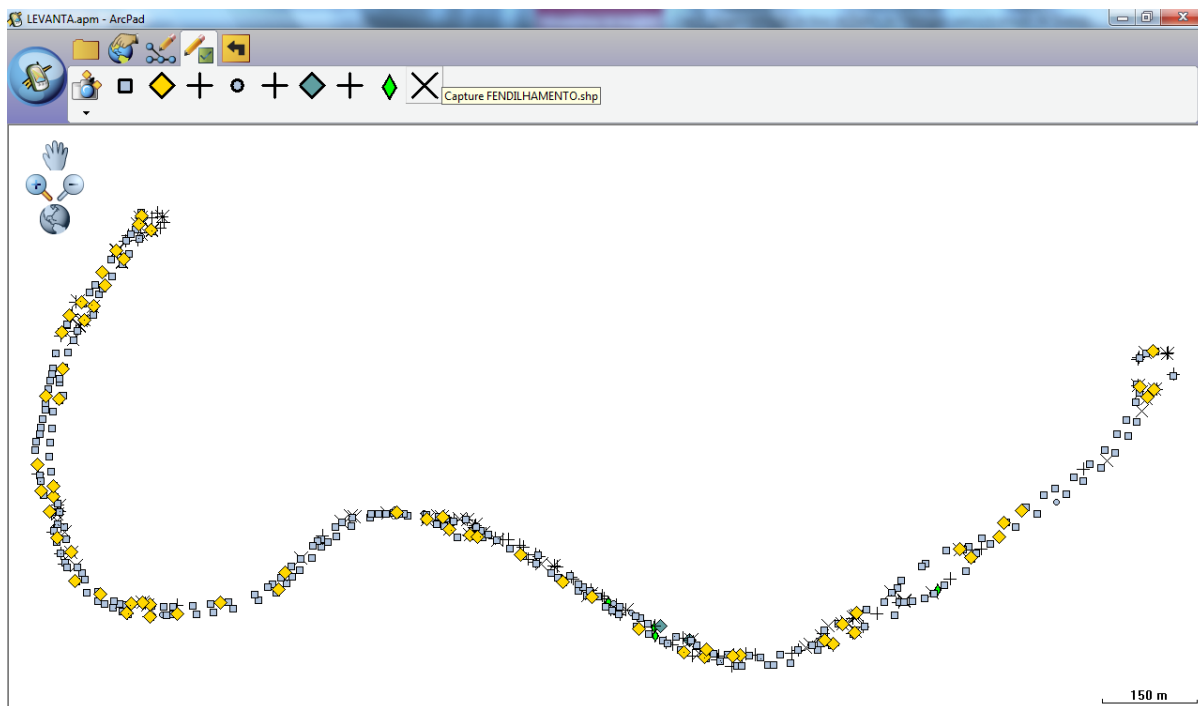


Figura 4.9 - Aspeto do programa de SIG - ArcPad10 e do registo de degradações na base de dados.

O levantamento apresentado na Figura 4.9 corresponde aos dados recolhidos na campanha final da inspeção visual a pé realizada no dia 27 de Abril de 2013.

Estando todos os dados inseridos num SIG, o tratamento dos mesmos torna-se mais fácil. A transferência destes dados do ArcPad 10 para o ArcMap 10 é simples, já que as *shapefiles* utilizadas no ArcPad 10 podem ser adicionadas em qualquer extensão do ArcGis, neste caso, no ArcMap 10.

Depois da migração da informação do levantamento para o ArcMap 10, é necessário proceder ao tratamento da mesma, tendo-se efetuando os seguintes passos:

a) Visualização das degradações pontuais e definição das suas áreas de influência.

b) Definição das degradações lineares, isto porque, no momento da campanha de inspeção visual a pé, as mesmas são inseridas como pontos (ponto inicial e ponto final da extensão da degradação), como já explicado, no ponto referente ao desenvolvimento da base de dados. Neste sentido, nesta fase do tratamento dos dados é necessário fazer a ligação entre os mesmos, definindo assim o comprimento afetado por cada degradação. Este tratamento é efetuado numa primeira fase com recurso a uma ferramenta do SIG (*ArcToolbox - Linear Referencing Tools - Create Routes*), que permite transladar os pontos recolhidos para as routes definida no eixo das faixas de rodagem, calculando a distância

dos pontos ao início da route, o que permite efetuar, numa folhas de cálculo *Microsoft Excel*, operações de subtração para determinar o comprimento da degradação.

c) Determinação, nas folhas de cálculo, do valor do Índice de Qualidade (IQ) com a aplicação da equação 3.1 (Eq. 3.1).

Para aplicação da equação Eq. 3.1 é necessário determinar alguns valores das parcelas que a constituem, neste sentido, para efetivar a aplicação da equação apresentada é necessário efetuar os seguintes passos:

-1ºPasso: Determinação das áreas totais de cada trecho;

-2ºPasso: Determinação das áreas afetadas ou do valor a adotar para cada degradação e nível de gravidade.

A determinação destas áreas e valores é obtida através aplicação dos critérios apresentados na Tabela 4.9, construída com base nos critérios adotados no SGP de Lisboa (Santos, 2002).

Tabela 4.9- Área afetada/valor a adotar para os níveis de gravidade das degradações consideradas.

Degradação	Níveis de Gravidade	Área afetada / Valor a adotar
Fendilhamento	Nível 1	0,5 m × Comprimento afetado
	Nível 2	2,0 m × Comprimento afetado
	Nível 3	Largura da via × Comprimento afetado
Pele de crocodilo	Nível 1	Largura da via × Comprimento afetado
	Nível 2	Largura da via × Comprimento afetado
	Nível 3	Largura da via × Comprimento afetado
Peladas	Nível 1	0,5 m × Comprimento afetado
	Nível 2	2,0 m × Comprimento afetado
	Nível 3	Largura da via × Comprimento afetado
Covas (ninhos)	Nível 1	0,5 m × Comprimento afetado
	Nível 2	2,0 m × Comprimento afetado
	Nível 3	Largura da via × Comprimento afetado
Reparações	Nível 1	$\frac{1}{4}$ Largura da via × Comprimento afetado
	Nível 2	$\frac{1}{2}$ Largura da via × Comprimento afetado
	Nível 3	Largura da via × Comprimento afetado
Rodeiras	Nível 1	$R_t = 10\text{mm}$
	Nível 2	$R_t = 30\text{mm}$
	Nível 3	$R_t = 50\text{mm}$

-3ºPasso: Determinação dos valores de C_t (área com fendilhamento e pele de crocodilo), S_t (área de desagregação superficial), R_t (profundidade média das rodeiras) e P_t (área com reparações). Os valores de C_t , S_t e P_t apresentam-se em $m^2/100m^2$, traduzindo a percentagem da área do trecho afetada pelas degradações. Neste sentido, se a soma de C_t , S_t e P_t for superior a 100%, deve ser adotada uma área de degradação de 100%. Para a determinação do valor de R_t (profundidade média das rodeiras) por trecho são considerados os seguintes aspetos:

- Se o trecho não apresentar rodeiras, o valor da profundidade média é igual a 0mm;
- Se existir no trecho várias extensões com diferentes níveis de gravidade perfazendo o comprimento total do trecho em estudo, o valor a considerar das rodeiras é igual à média ponderada obtida tendo em consideração o comprimento do trecho afetado por cada nível de gravidade;
- Se existir no trecho várias extensões ou apenas uma extensão, mas que não perfaz o comprimento total do trecho em análise, com o mesmo nível de gravidade, é considerado que todo o trecho tem esse nível de gravidade;
- Se existir no trecho várias extensões com diferentes níveis de gravidade, sem perfazer o comprimento total do trecho, o valor a considerar nas rodeiras é igual à média ponderada obtida apenas com as extensões do trecho afetadas.

-4ºPasso: Determinação do valor do IRI tendo como base o valor ponderado do nível de gravidade em função da extensão afetada em cada trecho por cada tipo de degradação (segundo o apresentado anteriormente na tabela Tabela 4.7) e os valores apresentados na seguinte Tabela 4.10.

Também neste caso os valores adotados para cada nível de gravidade se baseiam nos valores usados no SGP de Lisboa (Santos, 2002).

Tabela 4.10 - Valor a adotar para os níveis de gravidade da Irregularidade Longitudinal.

Degradação	Níveis de Gravidade	Valor a adotar
Irregularidade Longitudinal	Nível 1	$IRI_t=2000mm/Km$
	Nível 2	$IRI_t= 3500mm/Km$
	Nível 3	$IRI_t= 5500mm/Km$

-5ºPasso: Aplicação da Eq. 3.1 para determinação dos IQ por trecho com base na informação recolhida na inspeção visual a pé, chegando assim aos valores apresentados na seguinte Tabela 4.11.

Recorrendo às ferramentas do programa ArcMap 10 é possível visualizar de forma agregada ou isolada, tanto a informação inicial de sobre cada degradação como a informação produzida (IQ), tornando simples a interpretação dos dados sobre o estado dos pavimentos. Na Figura 4.10 encontram-se representados os valores do IQ obtidos com base na inspeção visual a pé..

Na representação dos valores do Índice de Qualidade recorreu-se a um agrupamento dos valores, por forma a facilitar a interpretação dos resultados obtidos:

- Pavimento em bom estado (cor verde), valores de IQ compreendidos entre 3,5 e 5;
- Pavimento em estado aceitável (cor de laranja), valores de IQ compreendidos entre 2,5 e 3,5;
- Pavimento em mau estado (cor vermelha), valores de IQ compreendidos entre 0 e 2,5.

É importante referir que a representação do IQ com base em agrupamentos, é também a forma apresentado pelos SGP de Lisboa (Santos, 2002), no SGP de Oliveira do Hospital (Meneses, et al., 2006) e na EP, S.A. (Trindade, et al., 2010).

Tabela 4.11 - Valores do Índice de Qualidade para os trechos segundos os 2 sentidos para a inspeção visual a pé.

Trecho ID	Índice de Qualidade	
	Sentido 1	Sentido 2
R0	3,654	3,642
R1	4,284	4,119
R2	3,309	3,736
R3	4,008	3,647
R4	4,121	3,465
R5	3,117	4,085
R6	2,602	2,392
R7	2,621	3,381
T1	4,528	4,691
T2	2,584	3,597
T3	4,043	3,246
T4	3,456	3,008
T5	4,531	3,735
T6	4,055	4,387
T7	2,341	3,439

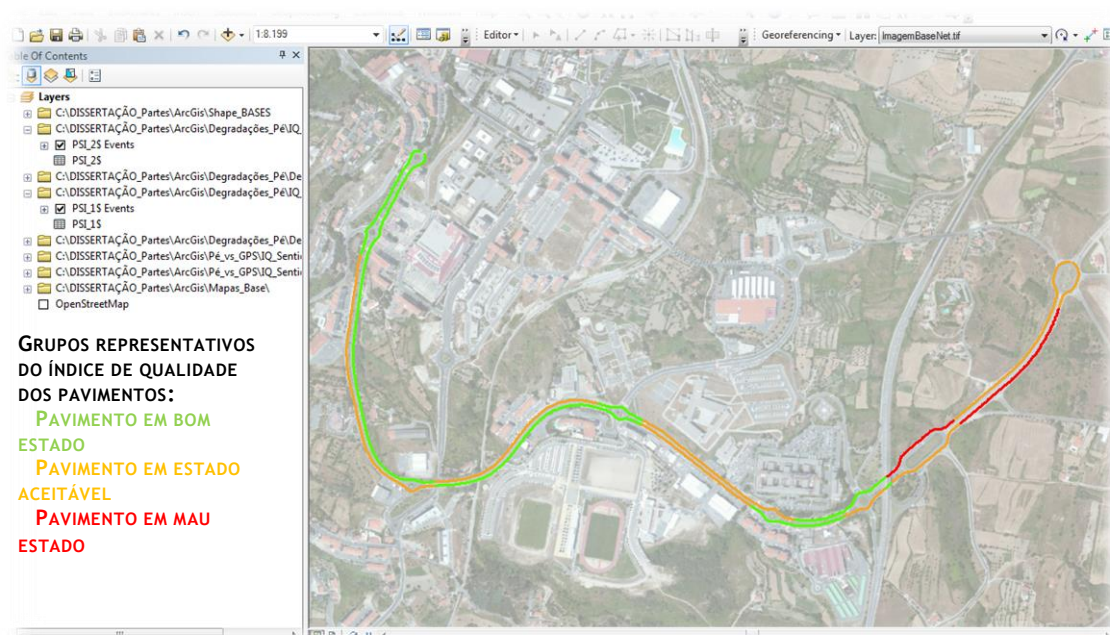


Figura 4.10 - Visualização do valor do Índice de Qualidade obtido pela inspeção visual a pé.

Tal como é apresentado na anterior figura (Figura 4.10), foram preparadas cartas temáticas para cada degradação e para o IQ obtido com base nos dados deste tipo de levantamento, as mesmas encontram-se no Anexo 1.

4.4.2. Inspeção realizada com base no sistema com recurso a imagem vídeo e GPS (Sistema GVD)

Para a inspeção a realizar com recurso a GPS e captação de imagem vídeo, sistema GVD, o sistema idealizado e testado inicialmente incorporava os seguintes equipamentos (ver Figura 4.11):

- 1 estrutura metálica para fixação do equipamento de captação de imagem, de medição de distâncias verticais da câmara ao pavimento e de georreferenciação;
- 2 *webcams* HD para captação de imagem;
- 4 GPS, sendo 3 GPS autónomos para posicionamento e sincronismo temporal dos dados e 1 GPS em modo de posicionamento relativo em pós-processamento, para a posição;
- 1 distanciómetro para medição da distância vertical;
- 3 computadores portáteis para o armazenamento dos dados recolhidos pelos equipamentos anteriores.



Figura 4.11 - Equipamentos inicialmente considerados no sistema com recurso à captação de imagem e GPS, sistema GVD.

Estes equipamentos foram montados numa estrutura metálica construída de raiz para este efeito, que por sua vez foi fixada na traseira de um veículo ligeiro, como é ilustrado no seguinte conjunto de imagens que constituem a Figura 4.12.



Figura 4.12 - Esquema geral da aplicação do sistema GVD num veículo ligeiro.

O primeiro teste piloto efetuado ao sistema concebido permitiu concluir que as imagens obtidas eram nítidas, possibilitando desta forma a visualização das degradações presentes no pavimento. Neste sentido, foi possível concluir que a utilização do tipo de câmaras (webcam HD) empregues permitia obter imagens com qualidade satisfatória para o estudo em causa. Em relação à localização das mesmas na estrutura, confirmou-se que também era correta

tendo em conta as ocorrências que se pretendiam observar, neste caso, as degradações presentes nos pavimentos rodoviários. No que respeita aos equipamentos de GPS empregues, verificou-se que os mesmos mostravam o comportamento esperado perante o meio envolvente (meio urbano edificado), com algumas perdas de sinal, mas com registo de dados suficientes para a localização das degradações.

Deste primeiro teste no Silo-automóvel da Faculdade de Engenharia da Universidade da Beira Interior (FE-UBI) foi possível obter, após o tratamento dos dados recolhidos, uma sequência de imagens que permitem a identificação e localização das degradações em gabinete, conforme se pode observar na Figura 4.13.

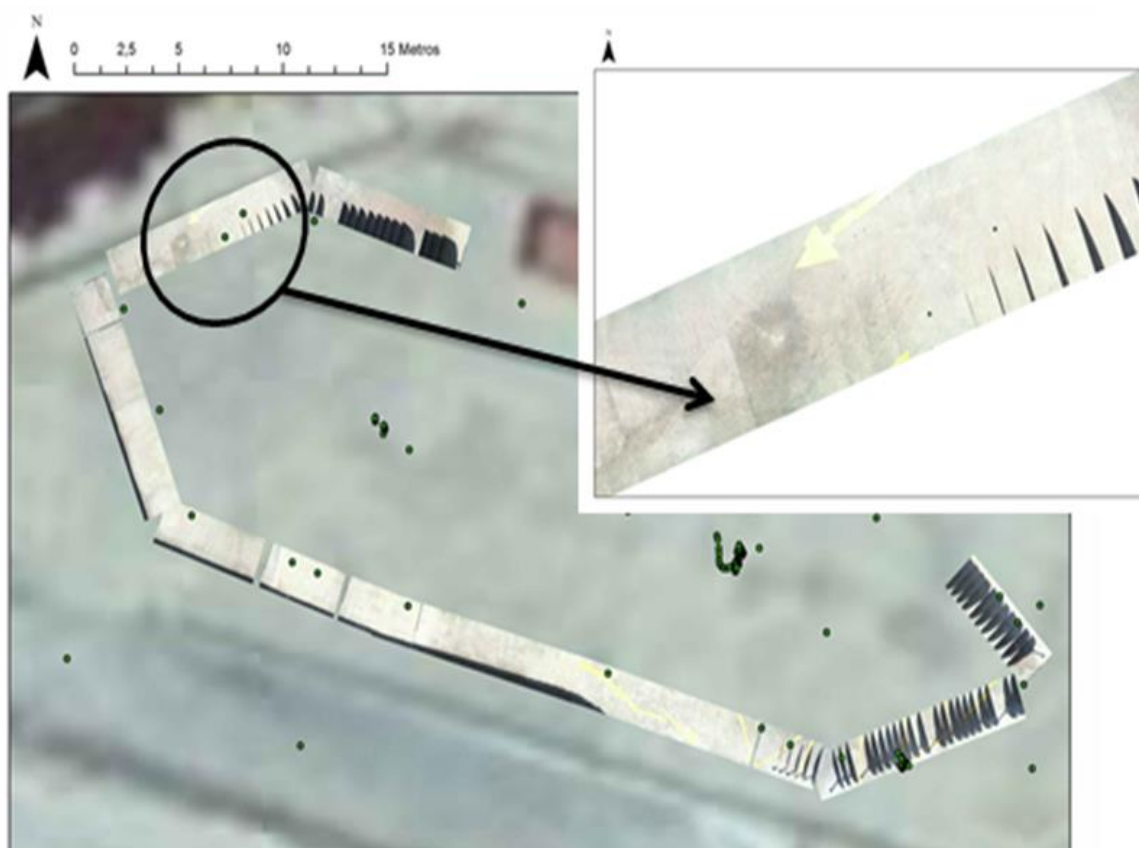


Figura 4.13 - Imagens provenientes de uma das *webcams* usadas no teste efetuado no silo-automóvel da Faculdade de Engenharia da UBI.

No entanto, sendo um dos objetivos do trabalho o desenvolvimento de um sistema de recolha de dados de custo reduzido, a diminuição do número de equipamentos, sem perda do nível de qualidade da informação para a avaliação do estado dos pavimentos, era um aspeto primordial que foi considerado ao longo de todo o estudo. Neste contexto, depois de realizado o teste inicial, foi possível concluir que a aplicação da estrutura metálica e do equipamento nela instalada, num veículo mais alto, traria como vantagem uma amplitude de captação de imagem maior e consequentemente a utilização de apenas uma câmara (*webcam HD*).

Aplicou-se então a estrutura num veículo do tipo todo-o-terreno, concluindo-se que a amplitude abrangida por apenas uma das câmaras era suficiente para a captação da largura de um via de tráfego (aproximadamente 3,30 metros de amplitude transversal), como tal, alterou-se assim o número de equipamentos necessário para o sistema em estudo, tendo sido empregues, para a campanha de levantamento de dados efetiva os seguintes equipamentos (ver conjunto de imagens que constituem a Figura 4.14):

- 1 estrutura metálica com ampliação do braço, pois a fixação da estrutura no veículo do tipo todo-terreno é efetuada de forma distinta em relação ao teste inicial;
- 1 *webcam* HD para captação de imagem;
- 3 GPS, 1 a funcionar em modo relativo e pós-processamento para a posição e 2 de sincronia temporal dos dados;
- 1 Distanciómetro para medição da distância vertical;
- 2 Computadores portáteis para o armazenamento dos dados recolhidos.



Figura 4.14 - Pormenores do esquema de aplicação dos equipamentos no veículo todo-o-terreno.

Esta redução de equipamento, para além de apresentar as vantagens inerentes à redução dos custos envolvidos na aquisição dos equipamentos, e como tal, à redução do custo do sistema na sua globalidade, apresenta uma redução muito significativa em termos de dados recolhidos e do seu tratamento. Esta redução advém da utilização de apenas uma câmara para a recolha da informação de imagem, pelo que não é necessário a sincronização de dados e imagens provenientes de 2 câmaras para a visualização e determinação das degradações presentes em

cada via de tráfego, simplificando assim a análise. No entanto, é importante referir que mesmo com a aplicação do sistema num veículo do tipo todo-o-terreno continua a ser necessário efetuar mais do que uma passagem em cada sentido para obter imagens do pavimento para as 2 vias que constituem normalmente as faixas de rodagem. Cada passagem permite efetuar o levantamento de informação relativo a uma via de tráfego.

A utilização deste sistema é simples, requer um condutor e um operador para controlo da aquisição dos dados e permite efetuar o levantamento da informação a uma velocidade de aproximadamente 20 Km/h. Enquanto o veículo se descola é possível visualizar num dos computadores a imagem captada pela câmara e desta forma, controlar a homogeneidade da filmagem da via de tráfego em observação. Durante todo o processo da campanha de levantamento, os GPS encontram-se em funcionamento, registando e armazenando assim os dados para os computadores associados.

O resultado destas campanhas traduz-se num conjunto de imagens que permitem a visualização da superfície dos pavimentos de toda a rede rodoviária em estudo e as respetivas coordenadas espaciais, sendo indispensáveis para a georreferenciação das imagens. O processo de associação das coordenadas de posição às imagens teve em consideração um dado comum na recolha dos dados: o tempo. É com base no tempo registado na captação das imagens, que é possível associar a posição geográfica, isto porque o GPS armazena as posições em função do tempo, sendo por isso o tempo um dado comum, permitindo assim a sua ligação.

Devido ao facto de existir uma grande quantidade de imagens como resultado do levantamento com este sistema, a associação da posição geográfica às mesmas foi efetuada com base na utilização de um programa elaborado para o efeito. Esse programa teve em consideração no seu desenvolvimento os seguintes aspetos:

- correção do tempo local,
- correção da posição GPS,
- rotação e
- a escala da imagem.

Com a aplicação deste programa, a georreferenciação das imagens é realizada de forma automática, e como tal, a sua visualização no ArcMap 10 é simples, adicionando as imagens no projeto.

A forma de levantamento da informação e identificação das degradações é o que distingue os dois métodos aplicados, como já referido. No método de inspeção, com o sistema GVD, a identificação das degradações e quantificação do nível de gravidade das mesmas é realizada por observação em gabinete, com recurso ao ArcMap 10, usando a base de dados

desenvolvida. No caso do método de inspeção a pé, estas operações são efetuadas diretamente no local, no momento do levantamento.

O restante tratamento dos dados para a obtenção do valor do IQ dos pavimentos rodoviários é igual ao aplicado no método de inspeção visual a pé, tendo-se efetuado desta forma todos os procedimentos referidos, ou seja definição das áreas de influencia das degradações pontuais, definição das áreas de influencia das degradações lineares, concluindo assim com a determinação, nas folhas de calculo, do valor do IQ.

Os valores do Índice de Qualidade dos pavimentos rodoviários obtidos pela aplicação deste método são os apresentados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 - Valores do Índice de Qualidade para os trechos segundo os 2 sentidos para a inspeção com o sistema GVD.

Trecho ID	Índice de Qualidade	
	Sentido 1	Sentido 2
R0	3,443	3,578
R1	3,929	3,980
R2	3,103	3,734
R3	3,653	3,574
R4	3,998	3,073
R5	3,019	3,735
R6	2,578	2,341
R7	2,509	3,430
T1	4,392	4,332
T2	2,726	3,392
T3	3,888	2,869
T4	3,198	2,564
T5	4,394	3,701
T6	4,051	4,384
T7	2,304	3,244

Da mesma forma como foi obtida a representação do IQ dos pavimentos rodoviários com base nos dados da inspeção visual a pé, foi também obtida uma representação para os valores correspondentes à inspeção com o sistema GVD. Na Figura 4.15 são apresentados estes valores, estes representados segundo o agrupamento apresentado para os valores de IQ obtidos pela inspeção visual a pé.

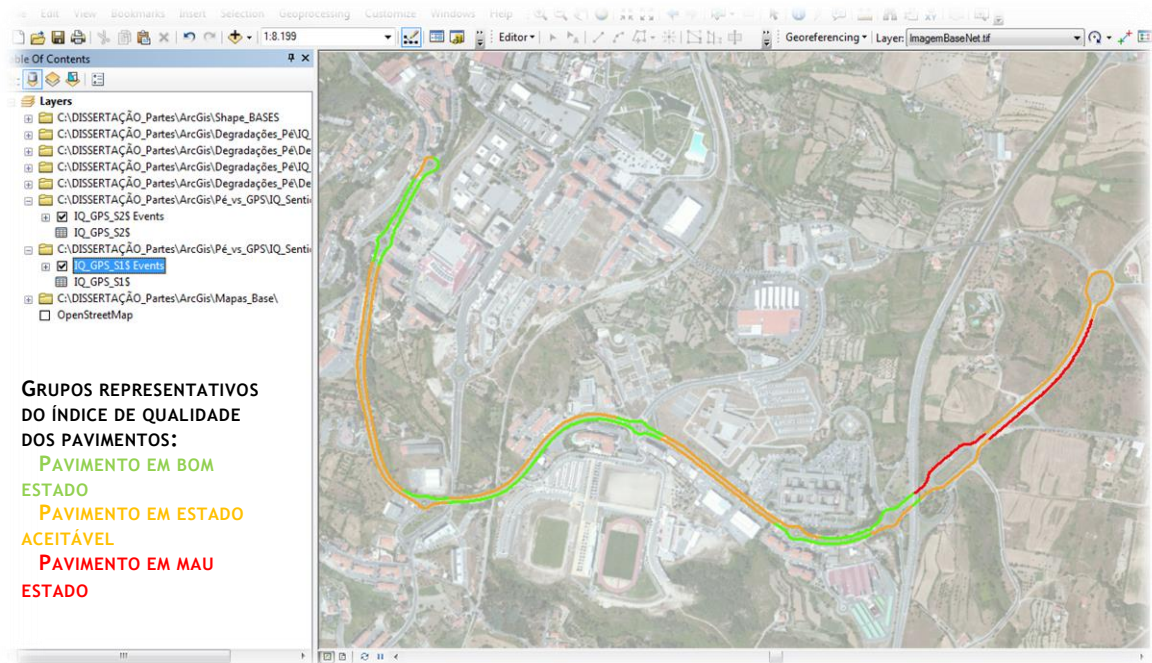


Figura 4.15 - Visualização do valor do IQ obtido pela inspeção com o sistema GVD.

4.5. Discussão de Métodos e Resultados

Da implementação do método com base na inspeção a pé foi possível, tendo como base a abordagem realizada, obter algumas conclusões, podendo ser algumas consideradas vantagens e outras desvantagens.

As vantagens que o método de inspeção visual a pé apresenta, referem-se ao facto de apenas ser necessário um operador para a realização da inspeção, com um investimento inicial reduzido. Este investimento inicial é aplicado na aquisição de equipamentos, estes de custo reduzido, como o computador portátil com o GPS incorporado e o *software* SIG, que neste caso foi o ArcPad 10; estes equipamentos permitem com a aplicação da base de dados desenvolvida a introdução das degradações já quantificadas e georreferenciadas. No entanto, facto de a quantificação das degradações ser realizada no momento da campanha à rede em estudo, limita a verificação da informação introduzida em gabinete sendo esta uma das desvantagens deste método, para além do facto do tempo que todo o processo de inspeção visual a pé requer, este proporcional a extensão da rede em análise,

No método de inspeção com o sistema GVD (que incorpora o registo de GPS com a captação de imagem), foi possível ao longo do estudo apresentar melhorias do mesmo, isto em relação à redução de equipamentos e conseqüentemente à redução do custo global do mesmo.

As vantagens de aplicação do sistema GVD elaborado, são consideráveis, este sistema permite com um investimento inicial reduzido face aos equipamentos desenvolvidos com as mesmas potencialidades, obter resultados fidedignos para a determinação do valor do IQ dos pavimentos que constituem a rede, ou seja permite uma observação fidedigna do estado do pavimento. O facto de o sistema, captar imagens, permite a visualização do estado do pavimento quantas vezes as necessárias para uma correta caracterização do mesmo, isto é bastante vantajoso para as concessionárias e entidades responsáveis pela gestão da conservação dos pavimentos, podendo desenvolver uma base de dados completa e bastante útil para estudos futuros, sendo todos os dados presentes na mesma, dependentes apenas da sua posição GPS o que significa que apesar de todas as alterações que podem ocorrer na envolvente da rede os dados continuam válidos e aplicáveis.

As desvantagens de aplicação do sistema GVD este método, centram-se no facto de o mesmo depender da obtenção de boas coordenadas GPS, de forma a permitir uma correta localização da rede e sequentemente das degradações nela presentes, visto que o sistema foi estudado num meio urbano e por vezes muito edificado, a perda de sinal ocorreu em algumas situações, no entanto, concluiu-se que a aplicação do GPS de sincronismo temporal era suficiente para uma boa obtenção das posições de GPS sendo o seu custo de aquisição reduzido, isto quando comparado com o GPS inicialmente proposto para a definição da rede.

Face a esta comparação e com base na semelhança dos dados de posição obtidos pelos dois tipos de GPS, e tendo presente que um dos objetivos do trabalho é o desenvolvimento de um sistema de custo reduzido, a utilização dos GPS mais simples para a obtenção das posições torna-se aceitável. Assim, o GPS empregue no sistema com o objetivo de obter a posição deixa de ser útil, permitindo mais uma redução do número de equipamentos que compõem o sistema.

Para sustentar esta conclusão efetuou-se um estudo em alguns pontos de controlo escolhidos para o efeito (correspondendo às linhas de paragem das passadeiras), comparando os valores obtidos pelo GPS de posição e sincronismo temporal *Garmin* (modelo GPS18USB) com os dados obtidos de uma campanha realizada posteriormente com GPS de pós processamento. Esta campanha foi realizada com 2 GPS de alta precisão de pós processamento em modo relativo de frequência simples, onde, com base nos resultados tratados e inseridos no ArcMap 10 foi possível fazer a comparação dos resultados, como pode ser observado na Figura 4.16.

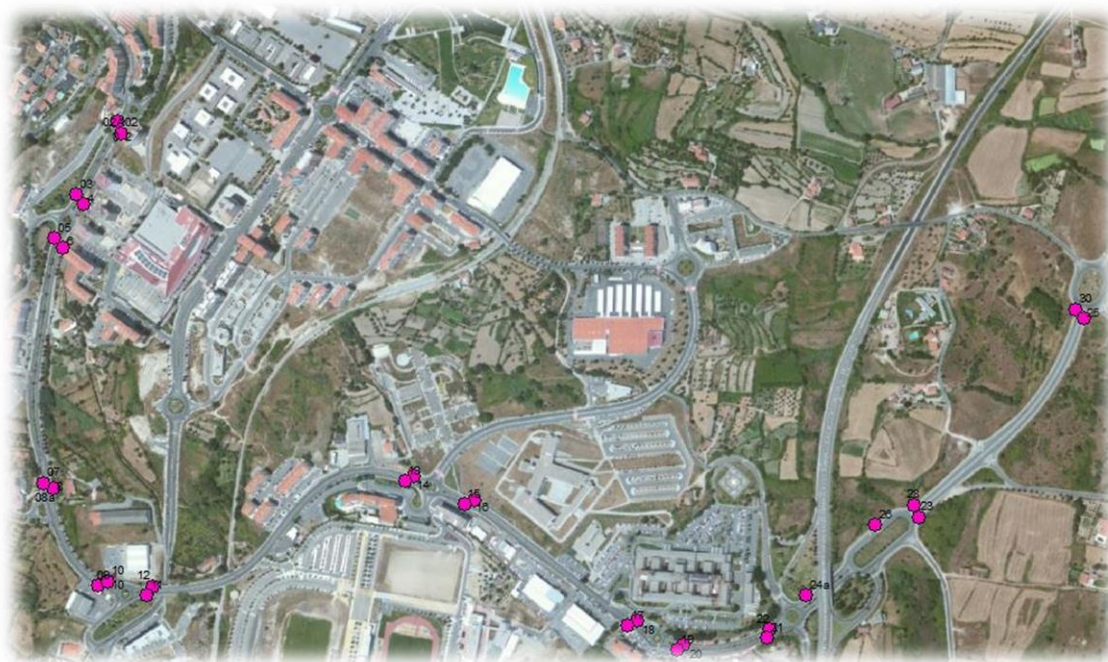


Figura 4.16 - Representação dos pontos de controlo no ArcMap 10.

Com base na comparação das coordenadas obtidas pelos GPS empregues (de pós processamento e o *Garmin*) é possível determinar o valor médio da diferença de coordenadas obtidas, sendo esse de 0,22 metros para as coordenadas X e Y. O valor determinado pode-se considerar aceitável tendo em conta que se trata de dados recolhidos em zona urbana e a finalidade do trabalho, garantindo desta forma que a utilização de um GPS mais simples, como o *Garmin*, é suficientemente rigoroso para o estudo em causa.

Quanto ao critério de determinação do número de passagens por faixa de rodagem, o mesmo baseou-se no facto do equipamento de imagem empregue, devido à posição em que é colocado na estrutura de suporte, apresentar uma amplitude de captura de imagem pouco inferior à largura de uma via completa, em alguns casos. Com base num reconhecimento ao local é possível perceber que na globalidade as faixas de rodagem que constituem a rede são compostas por 2 vias de tráfego, pelo que 2 passagens por faixa de rodagem (por sentido) são suficientes para abranger cerca de:

- em termos transversais:
 - para trechos de rotunda e raio de 40 metros da sua envolvente =73,9%
 - para trechos entre rotundas =99,7%
- em termos longitudinais:
 - para trechos de rotunda e raio de 40 metros da sua envolvente =100%
 - para trechos entre rotundas =100%

Neste sentido, é também importante referir que o facto de existir menos cobertura transversal nos trechos que são constituídos por rotundas e sua área envolvente (num raio de

40 metros), não alterou significativamente o valor do IQ, isto deve-se ao facto de durante a campanha de recolha das imagens se ter o cuidado de obter as imagens do pavimento mais degradado, quando a captação da amplitude transversal não completa da via era impossível de obter com o método aplicado.

Com o sistema GVD procedeu-se a 2 campanhas de recolha de dados, uma para cada sentido da rede, como já referido. Alguns dos parâmetros do GPS foram alterados, isto em termos de sincronização, apresentando assim algumas diferenças relevantes. Na primeira campanha, no sentido 1, o GPS Garmin foi preparado para efetuar uma sincronização de 60 em 60 segundos, procurando sempre o maior número de satélites, já na segunda campanha de levantamento, no sentido 2, o GPS Garmin foi preparado para efetuar uma sincronização no início de cada passagem. Esta diferença em termos de sincronização, associada a todas as variáveis a que este tipo de equipamentos se encontra já associado, revelou algumas diferenças em termos de dados de posição. Estas diferenças tornaram-se claras quando se analisou a localização dos trechos com base nos pontos de controlo (linha de paragem das passadeiras). Com base numa análise simples à posição das linhas de paragem de cada uma das passadeiras nas duas passagens por sentido, concluiu-se que na primeira campanha de recolha, sentido 1, o desvio médio associado ao posicionamento das imagens é de 1,61 metros, isto em relação as 2 vias que completam a faixa de rodagem do sentido 1. Na segunda campanha, no sentido 2, o desvio médio associado à posição das linhas de paragem das passadeiras foi de 1,09 metros, segundo a mesma relação.

Em termos globais a diferença de posicionamento das imagens entre as passagens é de 1,37 metros, no entanto, estes valores têm associados pequenos erros de diversas origens, não podendo afirmar que apenas se devem à forma como se processou a sincronização.

É importante referir que durante as campanhas de levantamento dos dados com o sistema GVD, surgiram algumas dificuldades devido à presença de obras na rede. O facto de existirem zonas de obras na rede, conduz a uma falta de informação sobre o estado superficial do pavimento nesses locais. Nestes casos, a informação em falta foi colmatada com base na informação recolhida na inspeção visual realizada a pé, sendo esta a solução mais adequada perante as possibilidades existentes.

O sistema GVD proposto, com base na captação de imagem e GPS, apresenta uma limitação relevante para a determinação da qualidade dos pavimentos, que é a impossibilidade de observar a presença de rodeiras, sendo as rodeiras um parâmetro importante na aplicação da equação que permite obter o IQ. Para colmatar esta limitação, recorreu-se aos dados obtidos da inspeção visual realizada a pé, no entanto, esta limitação está a ser alvo de estudos mais detalhados.

Como referido ao longo da descrição do estudo do sistema GVD as campanhas de levantamento de dados com este sistema proposto utilizaram um distanciómetro localizado a meia largura do veículo, onde todos os dados do mesmo foram armazenados. Um tratamento e interpretação inicial (simplificada) dos dados obtidos deixam antever que possa existir alguma relação entre os mesmos e a presença de irregularidade longitudinal no pavimento. Com base nestes resultados seria interessante testar a aplicação do distanciómetro sobre a zona dos rodados e compreender se existe uma relação com a irregularidade longitudinal, tal como explorar melhor se existe uma relação entre os dados já obtidos e a irregularidade longitudinal.

Com base no tratamento dos dados obtidos a partir das duas inspeções (a pé e com recurso a imagem) é possível fazer uma comparação dos resultados obtidos. Neste sentido, as Tabelas 4.13 a 4.17 apresentam, de uma forma simples, os resultados obtidos para cada tipo de degradação. As visualizações apresentadas foram obtidas com recurso às funcionalidades do programa ArcMap 10.

Tal como se elaborou cartas temáticas com as degradações e IQ obtido com base nos dados concluídos pela inspeção visual e pé, para o método de inspeção com o sistema GVD, apresenta-se no Anexo 1, o mesmo, sendo neste sentido, possível visualizar cartas temáticas das degradações e valores o IQ. O objetivo de apresentar estas cartas temáticas prende-se com o facto facilitar a comparação de dados obtidos pelos distintos métodos.

Tabela 4.13 - Comparação entre resultados para a degradação fendilhamento.



Tipo de inspeção	Fendilhamento
Inspeção visual a pé	 <p>NÍVEIS DE GRAVIDADE: NÍVEL DE GRAVIDADE_1 NÍVEL DE GRAVIDADE_2 NÍVEL DE GRAVIDADE_3</p>
Inspeção com sistema GVD	 <p>NÍVEIS DE GRAVIDADE: NÍVEL DE GRAVIDADE_1 NÍVEL DE GRAVIDADE_2 NÍVEL DE GRAVIDADE_3</p>

Tabela 4.14 - Comparação entre resultados para a degradação pele de crocodilo.



Tipo de inspeção	Pele de crocodilo
Inspeção visual a pé	 <p>NÍVEIS DE GRAVIDADE: NÍVEL DE GRAVIDADE_1 NÍVEL DE GRAVIDADE_2 NÍVEL DE GRAVIDADE_3</p>
Inspeção com sistema GVD	 <p>NÍVEIS DE GRAVIDADE: NÍVEL DE GRAVIDADE_1 NÍVEL DE GRAVIDADE_2 NÍVEL DE GRAVIDADE_3</p>

Tabela 4.15 - Comparação entre resultados para a degradação covas.



Tipo de inspeção	Covas
Inspeção visual a pé	 <p>NÍVEIS DE GRAVIDADE: NÍVEL DE GRAVIDADE_1 NÍVEL DE GRAVIDADE_2 NÍVEL DE GRAVIDADE_3</p>
Inspeção com sistema GVD	 <p>NÍVEIS DE GRAVIDADE: NÍVEL DE GRAVIDADE_1 NÍVEL DE GRAVIDADE_2 NÍVEL DE GRAVIDADE_3</p>

Tabela 4.16 - Comparação entre resultados para a degradação peladas.





Tipo de inspeção	Peladas
Inspeção visual a pé	 <p>NÍVEIS DE GRAVIDADE: NÍVEL DE GRAVIDADE_1 NÍVEL DE GRAVIDADE_2 NÍVEL DE GRAVIDADE_3</p>
Inspeção com sistema GVD	 <p>NÍVEIS DE GRAVIDADE: NÍVEL DE GRAVIDADE_1 NÍVEL DE GRAVIDADE_2 NÍVEL DE GRAVIDADE_3</p>

Tabela 4.17 - Comparação entre resultados para a degradação reparações.

Tipo de inspeção	Reparações
Inspeção visual a pé	 <p>NÍVEIS DE GRAVIDADE: NÍVEL DE GRAVIDADE_1 NÍVEL DE GRAVIDADE_2 NÍVEL DE GRAVIDADE_3</p>
Inspeção com sistema GVD	 <p>NÍVEIS DE GRAVIDADE: NÍVEL DE GRAVIDADE_1 NÍVEL DE GRAVIDADE_2 NÍVEL DE GRAVIDADE_3</p>

As rodeiras sendo consideradas na determinação da qualidade dos pavimentos, com base na aplicação da equação 3.1, no entanto, a mesma, apresentando uma representação conforme o ilustrado na Figura 4.17.

NÍVEIS DE GRAVIDADE:

NÍVEL DE GRAVIDADE 1 NÍVEL DE GRAVIDADE 2 NÍVEL DE GRAVIDADE 3



Figura 4.17 - Representação da degradação rodeiras - inspeção visual a pé.

Com o intuito de comparar os valores do IQ obtidos, as seguintes tabelas (Tabela 4.18 e 4.19) apresenta a comparação entre os mesmos e o respetivo valor da diferença entre os mesmos. Para a determinação do valor da diferença, o IQ considerado foi o IQ obtido pelo sistema GVD.

Com base nas tabelas é possível concluir que a diferença média de valores é de aproximadamente, 0,14 para o sentido 1 (Oeste-Este) e de 0,18 para o sentido 2 (Este-Oeste), sendo estas diferenças reduzidas.

Existem em ambos os sentido um caso, em que apesar de a diferença ser pequena entre os valores do IQ dos dados obtidos a pé e com os dados obtidos pelo sistema com GPS e vídeo, é suficiente para que se encontrem em distintos grupos representativos, como é possível verificar no sentido 1 no trecho RO e no sentido 2 no trecho T2.

É importante lembrar que as degradações na inspeção visual a pé são identificadas e quantificadas a partir do passeio e com o tráfego a circular sobre a zona a inspecionar, já no levantamento com o sistema GVD o mesmo não acontece, obtendo mesmo, uma imagem na vertical do estado superficial do pavimento, sem interferência da circulação do tráfego, podendo estes aspetos justificar algumas diferenças visíveis na classificação de algumas degradações.



Tabela 4.18 - Comparação entre resultados do IQ pelos dois métodos aplicados para o sentido 1.

Sentido 1			
Trecho ID	Sistema de inspeção a pé	Sistema GVD	Diferença
R0_1	3,6542	3,443191294	-0,2110
R1_1	4,2836	3,929086088	-0,3545
R2_1	3,3093	3,10253365	-0,2068
R3_1	4,0082	3,653094873	-0,3551
R4_1	4,1212	3,997881365	-0,1233
R5_1	3,1173	3,019254747	-0,0980
R6_1	2,6016	2,577612326	-0,0240
R7_1	2,6210	2,509152422	-0,1119
T1_1	4,5279	4,392419874	-0,1355
T2_1	2,5840	2,726485335	0,1424
T3_1	4,0427	3,88844959	-0,1543
T4_1	3,4562	3,197834225	-0,2584
T5_1	4,5310	4,394283288	-0,1367
T6_1	4,0553	4,050836065	-0,0044
T7_1	2,3411	2,303906241	-0,0372
Valor Médio	3,5503	3,4124	-0,1379

Tabela 4.19 - Comparação entre resultados do IQ pelos dois métodos aplicados para o sentido 2.

Sentido 2			
Trecho ID	Sistema de inspeção a pé	Sistema GVD	Diferença
R0_2	3,6421	3,5777	-0,0644
R1_2	4,1188	3,9803	-0,1385
R2_2	3,7362	3,7339	-0,0022
R3_2	3,6470	3,5737	-0,0733
R4_2	3,4653	3,0728	-0,3924
R5_2	4,0854	3,7347	-0,3508
R6_2	2,3920	2,3408	-0,0512
R7_2	3,3815	3,4295	0,0480
T1_2	4,6907	4,3323	-0,3584
T2_2	3,5968	3,3922	-0,2045
T3_2	3,2456	2,8690	-0,3766
T4_2	3,0079	2,5635	-0,4443
T5_2	3,7355	3,7012	-0,0343
T6_2	4,3866	4,3840	-0,0027
T7_2	3,4394	3,2437	-0,1956
Valor Médio	3,6381	3,4620	-0,1761

Tabela 4.20 - Comparação entre resultados para o IQ.

Tipo de inspeção	Inspeção visual a pé	Inspeção com sistema GVD
Índice de Qualidade	 <p data-bbox="459 1074 1086 1169"> GRUPOS REPRESENTATIVOS DO ÍNDICE DE QUALIDADE DOS PAVIMENTOS: PAVIMENTO EM BOM ESTADO PAVIMENTO EM ESTADO ACEITÁVEL PAVIMENTO EM MAU ESTADO </p>	 <p data-bbox="1283 1086 1910 1182"> GRUPOS REPRESENTATIVOS DO ÍNDICE DE QUALIDADE DOS PAVIMENTOS: PAVIMENTO EM BOM ESTADO PAVIMENTO EM ESTADO ACEITÁVEL PAVIMENTO EM MAU ESTADO </p>

Todas as conclusões obtidas a partir das imagens do levantamento efetuado com o sistema proposto foram determinadas com base em conjuntos de imagens semelhantes ao apresentado na Figura 4.18. Como pode ser verificado, as degradações são facilmente visualizadas na imagem.

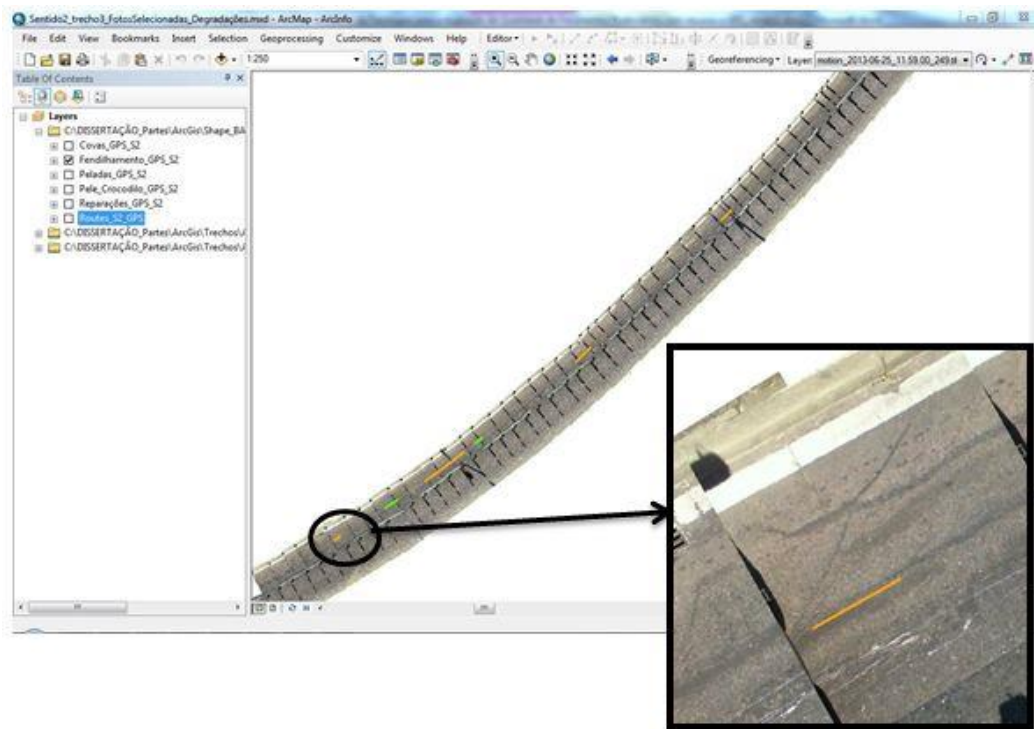


Figura 4.18 - Exemplo da análise das degradações ao partir dos dados recolhidos com o sistema proposto, sistema GVD.

Mesmo com as limitações e problemas anteriormente referidos é possível obter resultados que face aos obtidos na inspeção visual a pé, estão de acordo com o grau de rigor necessário, apresentando assim um método económico e fiável para a avaliação da qualidade dos pavimentos rodoviários.

5. Conclusões

Atualmente, devido às restrições financeiras existentes, é essencial conhecer o estado em que a rede rodoviária se encontra, em particular o estado dos seus pavimentos, de forma a definir prioridades de intervenção para que o nível de qualidade da rede seja aceitável, não comprometendo a segurança dos seus utilizadores.

Neste sentido, a implementação de sistemas de gestão da conservação de pavimentos rodoviários (SGCP) requer a realização de operações de observação do estado superficial e estrutural dos mesmos, de modo a estabelecer um diagnóstico.

A observação e o registo da informação recolhida, com base na qual se determinará a qualidade dos pavimentos, as prioridades de intervenção e os tratamentos a adotar, constitui a fase mais importante do sistema. Neste contexto, a escolha dos parâmetros a observar deve ter em conta o fim a que se destinam, avaliando-se a relevância, a precisão e qualidade necessárias, a frequência de recolha e custos envolvidos na sua aquisição.

Para auxiliar o tratamento e a interpretação dos dados obtidos das observações do estado dos pavimentos têm vindo a ser utilizados os sistemas de informação geográfica (SIG).

Sendo os SIG capazes de associar informação de natureza espacial a informação alfanumérica, integrando esta última numa base de dados, podendo ser posteriormente usados como ferramenta de apoio à decisão em SGCP, são normalmente efetuadas as seguintes operações:

- Integração de cadastro alfanumérico através da georreferenciação dos elementos a cadastrar;
- Criação de bases de dados espaciais;
- Identificação, qualificação e quantificação dos elementos da malha rodoviária;
- Produção de cartas temáticas e relatórios.

No entanto, a correta conceptualização da base de dados é essencial para o sucesso da aplicação do sistema onde a mesma se encontra inserida.

Com base no estudo apresentado é possível concluir que os grupos de dados considerados nos SGCP são:

- Geometria da rede;
- Identificação e referenciação;
- Estrutura e história dos pavimentos;
- Avaliação da qualidade do pavimento;
- Dados de caracterização do tráfego;
- Ações de obras de conservação.

Para integrar todos estes dados num SIG é necessário recorrer a métodos de referenciação e a sistemas de referenciação, tornando possível referenciar no espaço, com rigor, a informação

que caracteriza a rede rodoviária e o estado dos seus pavimentos e com a qual será efetuada a identificação e a localização dos trechos em que é necessário intervir.

É neste sentido que a utilização do GPS se tornou essencial na aplicação dos dois métodos de inspeção apresentados. A utilização de GPS para a obtenção dos dados de localização das ocorrências consideradas (degradações dos pavimentos) permitiu adotar um sistema de referenciação espacial. Os sistemas de referenciação espacial permitem associar a informação à sua posição independentemente das alterações que possam ocorrer na rede e na sua envolvente, permitindo também uma observação em sistemas de referenciação lineares, aplicando as potencialidades disponíveis dos SIG, não alterando, a informação original, isto é, a base de dados com a informação espacial.

Para o levantamento desta informação foram efetuadas duas inspeções com metodologias de levantamento distintas, uma a pé e outra em veículo equipado para o efeito.

A inspeção visual a pé foi realizada com recurso a um computador portátil com GPS incorporado e um sistema de informação geográfica móvel que permite a recolha de dados no campo. A utilização deste equipamento permitiu registar a informação em formato digital, diretamente no local, constituindo uma vantagem em relação à recolha tradicional com recurso a registo em papel. O programa de SIG facilitou todo o processo de tratamento e visualização de dados e resultados, reduzindo o tempo despendido nestas operações. Em termos de investimento inicial e de funcionamento, esta metodologia apresenta um custo reduzido, estando este associado à aquisição de um computador portátil com GPS incorporado, de software e da necessidade de apenas 1 operador.

No entanto, o tempo de recolha dos dados continua a ser uma desvantagem deste método de inspeção. O facto de a análise do estado superficial dos pavimentos ser realizada no momento da campanha de recolha dos dados, pelo operador, mantém um certo grau de subjetividade inerente ao processo de avaliação, apesar de existir um catálogo de degradações como documento orientador para a identificação e quantificação das degradações. Este método apresenta também como desvantagem, a impossibilidade de avaliar novamente a situação nas mesmas condições e no mesmo momento.

O programa SIG utilizado na inspeção a pé foi o ArcPad, o qual permite a recolha dos dados, a criação, edição, análise e visualização de dados vetoriais e de imagens *raster*, sendo também capaz de observar os projetos em outras extensões do ArcGis.

Para o método de inspeção proposto neste estudo, realizado num veículo equipado com GPS e câmaras para captação de imagem (o sistema GVD), o processo de análise das degradações não é efetuado no momento da campanha de recolha de dados. Os dados recolhidos pelo sistema são sincronizados e tratados de forma a permitir a sua visualização num SIG, neste

caso o ArcMap. É com base na visualização dos dados no programa SIG que é realizado todo o processo de identificação e quantificação das degradações.

O sistema GVD é constituído por uma estrutura metálica que suporta uma câmara (webcam HD), um GPS e um distanciómetro, estando estes equipamentos ligados a 2 computadores para o armazenamento de dados. O mesmo foi estruturado de forma a se obter uma visualização na vertical do estado superficial do pavimento. O sistema permite a recolha de dados a uma velocidade de aproximadamente 20 km/h. Neste sentido e apesar de o sistema se integrar na corrente de tráfego, o facto de se deslocar a uma velocidade reduzida causa alguma perturbação na circulação, contudo permite uma captação de imagens de qualidade do estado do pavimento. Comparando os dois métodos, a inspeção visual a pé não perturba a circulação de tráfego, mas o tráfego perturba a avaliação das degradações, já com o sistema GVD, o tráfego pode sofrer algumas perturbações mas as imagens obtidas pelo sistema são de qualidade permitindo uma correta avaliação do estado do pavimento. O sistema GVD necessita no entanto de dois operadores, um para conduzir o veículo e um para monitorização do equipamento.

Para o processo de georreferenciação das imagens, provenientes do sistema GVD foi necessário desenvolver um programa informático, de forma a reduzir todo o processo de tratamento de dados. Depois de todas as imagens projetadas no ArcMap e da definição da rede com base nos dados obtidos por GPS, o processo de identificação e quantificação das degradações foi semelhante ao efetuado no método de inspeção visual. No entanto, este método permite reduzir alguma da subjetividade inerente ao processo de análise, já que é possível visualizar as degradações repetidamente no registo de imagens.

O sistema foi também desenvolvido com a finalidade de constituir um equipamento de custo reduzido quando comparado com outros sistemas comerciais similares, permitindo desta forma que as entidades responsáveis pela gestão rodoviária tenham disponível uma solução mais económica para a realização das análises de avaliação da qualidade dos pavimentos.

As vantagens na aplicação do sistema GVD estão centradas nos aspetos de custos e de redução da subjetividade, sendo um equipamento eficaz na análise do estado dos pavimentos.

Todavia, o sistema GVD apresenta neste momento uma desvantagem, o facto de não permitir a identificação e quantificação da degradação rodeiras, considerada na avaliação da qualidade dos pavimentos. A utilização do distanciómetro e dos dados obtidos com o mesmo encontram-se atualmente a ser estudados, mas ainda não existem conclusões que possam sustentar que existe uma relação entre os dados registados e a presença de rodeiras ou de irregularidade longitudinal no pavimento (parâmetro que foi definido neste estudo com base em tabelas qualitativas).

Da comparação dos resultados obtidos com os dois sistemas, é possível afirmar que o sistema GVD permite uma redução em termos de tempo despendido na recolha de dados e uma redução na subjetividade associada aos levantamentos deste tipo de informação, isto porque é possível a repetição da observação do estado do pavimento com o recurso as imagens obtidas.

Em relação ao tratamento dos dados para a determinação da qualidade dos pavimentos, os sistemas apresentam resultados muito semelhantes, sendo mais fiável a observação obtida com a aplicação do sistema GVD, e por conseguinte mais representativos da situação existente. Algumas das diferenças encontradas nos resultados da avaliação das degradações pelos dois métodos podem dever-se ao facto de o operador, na inspeção visual realizada a pé, se deslocar no passeio e com os veículos a circular normalmente sobre a rede em análise, o pode levar a algumas falhas na identificação e quantificação de algumas degradações.

Como já referido, subcapítulo 4.5, ainda existem aspetos a melhorar no sistema GVD, neste sentido, apontam-se como desenvolvimentos futuros alguns desenvolvimentos que podem contribuir para a melhoria da globalidade do sistema:

- Estudo das potencialidades da aplicação do distanciómetro, isto em relação à presença de rodeiras e do IRI (este já em estudo).
- A utilização de um sistema de posicionamento inercial, colmatando as falhas de sinal do GPS e como tal, falhas na obtenção dos dados.
- A utilização de um sistema de luzes para que as campanhas de levantamento de dados sejam efetuadas durante o período noturno, garantindo desta forma um homogeneidade do grau de luminosidade, durante todo o processo.
- A aplicação de um outro tipo de câmara de filmagem que automaticamente seja capaz de associar à imagem as posições GPS (câmara da Garmin do modelo Virb™ Elite). A aplicação deste tipo de câmara resultaria numa redução de dados a tratar e como tal de tempo despendido neste processo, sendo possível logo após as campanhas de recolha de dados a visualização no ArcMap.
- A aplicação de um sistema de luzes com cores distintas pode também apresentar uma mais-valia para a determinação das degradações, isto porque a partir da análise das imagens seria visível uma combinação de cores que facilitaria a interpretação do estado superficial dos pavimentos.
- A aplicação de um equipamento laser sobre a zona dos rodados e no eixo central do veículo de levantamento para determinar a presença de rodeiras e do IRI.

6. Referências Bibliográficas

Abrantes, Graça. 1998. *Sistemas de Informação Geográfica - Conceitos*. Lisboa : Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 1998.

ACPA, American Concrete Pavement Association. 2002. [Online] Concrete Pavement Research & Technology, 2002. [Citação: 12 de Novembro de 2012.]
<http://www.acpa.org/Downloads/RT/RT3.07.pdf>.

Alves, Diogo Miguel Dantas. 2011. Implementação de um Sistema de Inventariação para Infra-estruturas Rodoviárias com recurso a GPS e SIG. *o caso da sinalização e dispositivos de segurança*. Dissertação de Mestrado Universidade da Beira Interior Covilhã : s.n., 2011.

Alves, Teresa Sofia Figueiredo. 2007. *Metodologia de auscultação de pavimentos rodoviários* . Lisboa : Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

ArcPad. 2006. Mobile GIS Software for Field Mapping Applications. *ERSI - Environmental Systems Research Institute*. [Online] 2006.
<http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/arcpadbro.pdf>.

ERSI - Environmental Systems Research Institute . 2006. Mobile GIS Software for Field Mapping Applications.. [Online] 2006.
<http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/arcpadbro.pdf>.

Aronoff, Stanley. 1989. *Geographic Information System: a Management Perspective*. Ottawa : WBL Publications, 1989.

Barros, Rui. 2008. Norvia. [Online] 13 de Novembro de 2008. [Citação: 10 de Novembro de 2012.] <http://www.norvia.pt/>.

Bennett, Chistopher R., Solminihac, Hernán de e Chamorro, Alondra. 2006. Data Collection Technologies for Road Management. s.l. : Transport Notes, 2006. Roads and Rural Transport Thematic Group.

Board, Transportation Research. Transportation Research Board of the National Academies. [Online] <http://trb.metapress.com/home/main.mpx>.

Branco, Fernando, et al. 2011. *Pavimentos Rodoviários*. Coimbra : Almedina, 2011. ISBN 987-972-40-2648-0.

- Brennan, Patrick e Harlow, Melanie. 2004.** *Linear Referencing in ArcGIS*. USA : ERSI, 2004.
- Burrough, P. A. 1986.** *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources*. Oxford : Clarendon Press, 1986.
- Câmara, Gilberto, Davis, Clodoveu e Vieira Monteiro, Antônio Miguel. 2001.** *Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos : Ministério da Ciência e Tecnologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. INPE-10506-RPQ/249.
- Cowen, David J. 1988.** "GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences?" *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11), 1551-55. 1988.
- Department of Transportation State of Texas. [Online] <http://www.txdot.gov/>.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER. 1998.** *Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos*. Rio de Janeiro : Ministério dos Transportes, 1998. CDD 625.760202.
- Dias, Elisabete. 2003.** Modelos de dados raster ou vetorial no desenvolvimento de um SIG. 2003, Mestrado em Ciência e sistemas de informação geográfica.
- Dynatest. Serviços e Produtos.** [Online] <http://www.dynatest.com.br/servicos.asp>.
- ERSI . 2006.** Mobile GIS Software for Field Mapping Applications- ArcPad. *Environmental Systems Research Institute*. [Online] 2006.
<http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/arcpadbro.pdf>.
- ERSI, Environmental Systems Research Institute. 2006.** ERSI Portugal. *ArcPad- Mobile GIS Software for Field Mapping Applications*. [Online] 2006.
<http://www.esriportugal.pt/solucoes/sig-movel/arcpad/>.
- ERSI . 2006.** *ArcPad- Mobile GIS Software for Field Mapping Applications*. Portugal [Online] 2006. <http://www.esriportugal.pt/solucoes/sig-movel/arcpad/>.
- ESRI. 2010.** *ArcGIS 10- ArcMap* . USA, 2010. Software.
- Federal Highway Administration.** [Online] <http://www.fhwa.dot.gov/>.
- Federal Highway Administration. 2008.** Pavement Management systems - The Washington State Experience. *Asset Management*. [Online] 2008.
http://www.fhwa.dot.gov/asset/if08010/washcase_rev3.pdf.
- Ferreira, Adelino. 2006.** *SIGPAV- Sistema de Gestão da Conservação de Pavimentos de Redes Rodoviárias*. Coimbra : Universidade de Coimbra Departamento de Engenharia Civil Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2006.

Ferreira, Adelino, et al. 2006. *Sistema de Gestão da Conservação da Rede Rodoviária de Lisboa*. Coimbra : Universidade de Coimbra Departamento de Engenharia Civil Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2006.

Figueiredo, Pedro Fernando da Costa. 2010. *Aplicação de SIG para Localização e Auxílio ao Diagnóstico da Sinistralidade Rodoviária em Meio Interurbano*. Dissertação de Mestrado Universidade da Beira Interior Covilhã : s.n., 2010.

Google. 2013. *Google*. [Online] 2013. <http://www.google.com/earth/index.html>.

Henry, Jonh Jewett e Wambold, James C. *Vehicle, Tire, Pavement Interface*. s.l. : ASTM da CCR Press. Vol. Taylors and Francis Group, Road Roughness (Pg. 15 e Pg. 339).

Horta, Carlos Santinho, et al. 2013. *O sistema de gestão de conservação de pavimentos da Estradas de Portugal, S.A. - Balanço de um implementação consolidada*. Lisboa : Centro Rodoviário Português, 2013. 978-989-98338-1-4.

JAE, Junta Autónoma de Estradas. 1995. *Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional*. 1995.

Jersey, Department of Transportation State of New. [Online] <http://www.state.nj.us/transportation/>.

Luz, Ana Sofia Filipe de Sousa. 2011. *Contribuição para a modelação do Índice de Qualidade na Caracterização da Rede Rodoviária Nacional*. Lisboa : Universidade Técnica de Lisboa Dissertação de Mestrado, 2011.

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. 2005. *Caractéristiques routières et Sécurité. LCPC*. [Online] 17, 18 e 19 de Maio de 2005. [Citação: 25 de Agosto de 2013.] http://media.lcpc.fr/ext/pdf/sem/2005_secu_18-08.pdf.

Macedo, António Carlos Faria Lemonde de. 1988. *"Sistemas de Informação Rodoviária. Estudo de um sistema de referência para o caso de Portugal"*. Lisboa : LNEC, 1988.

Matos, João Luís de. 2006. *Fundamentos de Informação Geográfica*. s.l. : Lidel, 2006. ISBN 9789727575145.

Meneses, Susana e Ferreira, Adelino. 2006. Lisboa : IV Congresso Rodoviário Português-Política Rodoviária. Os próximos 10 anos, 2006. O Sistema de Gestão da Conservação dos Pavimentos da Rede Rodoviária de Oliveira do Hospital.

Microsoft. 2009. *Excel*. Portugal, 2009. Software.

- Sebaaly, P. E.; Hand, A.; Epps, J.; Bosch, C. 1996.** *Nevada's Approach to Pavement Management* 1996, Transportation Research Record, pp. Vol 1524 Pg: 109-117.
- Picado-Santos, Luís, et al. 2004.** *Pavement Management system for Lisbon*.2004, ICE, pp. 157-165.
- Pereira, Paulo e Miranda, Valverde. 1999.** *Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários*. Braga : Universidade do Minho, 1999. ISBN 972-8533-04-7.
- PIARC/ PIARC, Associação Mundial de Estradas. 1999.** [Online] 1999. [Citação: 10 de Novembro de 2012.] <http://www.lpcb.org/lpcb-downloads/presentations/99piarc-overview.pdf>.
- Pina, Maria de Fátima e Carvalho, Marília Sá. 2000.** *Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde* . Brasília : DIS/CICT/FIOCRUZ, 2000.
- Pinto, João e Ferreira, Adelino. 2006.** Lisboa : IV Congresso Rodoviário Português- Política Rodoviária. Os próximos 10 anos, 2006. Desenvolvimento de um Sistema de Gestão de Segurança Rodoviária para o Concelho de Oliveira do Bairro.
- Pinto, João e Ferreira, Adelino. 2006.** Desenvolvimento de um sistema de gestão de segurança rodoviária para o Concelho de Oliveira do Bairro. *Congresso Rodoviário Portugues* . IV, 2006, Estrada 2006- Política Rodoviária. Os Próximos 10 anos.
- Santos, Bertha. 2002.** *Implementação de um Sistema de Gestão da Conservação de Pavimentos Rodoviários para a cidade de Lisboa*. Coimbra, Portugal : Dissertação de Mestrado da Universidade de Coimbra, 2002.
- Santos, Bertha, Nunes, Filipe e Rodrigues, João. 2012.** Manutenção e Pequenas Reparações de Pavimentos Rodoviários. 2012. Curso N°6.
- Trindade, Manuela e Horta, Carlos Santinho. 2010.** *O sistema de Gestão de Pavimentos da EP-Estradas de Portugal, S.A.* 2010.
- WERD, Western European Road Directors . 2003.** “Data Management for Road Administrations - A Best Practice Guide”,. *Road Data*. [Online] 2003. www.roaddata.org.

7. Anexos

- I. Representação da degradação do tipo fendilhamento com base nos dados obtidos pela inspeção visual a pé
- II. Representação da degradação do tipo fendilhamento com base nos dados obtidos pela aplicação do sistema GVD
- III. Representação da degradação do tipo fendilhamento com base nos dados obtidos pela aplicação dos dois sistemas (inspeção visual a pé + GVD)
- IV. Representação da degradação do tipo pele de crocodilo com base nos dados obtidos pela inspeção visual a pé
- V. Representação da degradação do tipo pele de crocodilo com base nos dados obtidos pela aplicação do sistema GVD
- VI. Representação da degradação do tipo pele de crocodilo com base nos dados obtidos pela aplicação dos dois sistemas (inspeção visual a pé + GVD)
- VII. Representação da degradação do tipo covas com base nos dados dados obtidos pela inspeção visual a pé
- VIII. Representação da degradação do tipo covas com base nos dados obtidos pela aplicação do sistema GVD
- IX. Representação da degradação do tipo covas com base nos dados obtidos pela aplicação dos dois sistemas (inspeção visual a pé + GVD)
- X. Representação da degradação do tipo peladas com base nos dados dados obtidos pela inspeção visual a pé
- XI. Representação da degradação do tipo peladas com base nos dados obtidos pela aplicação do sistema GVD
- XII. Representação da degradação do tipo peladas com base nos dados obtidos pela aplicação dos dois sistemas (inspeção visual a pé + GVD)
- XIII. Representação da degradação do tipo reparações com base nos dados obtidos pela inspeção visual a pé
- XIV. Representação da degradação do tipo reparações com base nos dados obtidos pela aplicação do sistema GVD

- XV. Representação da degradação do tipo reparações com base nos dados obtidos pela aplicação dos dois sistemas (inspeção visual a pé + GVD)
- XVI. Representação da degradação do tipo rodeiras com base nos dados dados obtidos pela inspeção visual a pé
- XVII. Representação do Índice de Qualidade com base nos dados dados obtidos pela inspeção visual a pé
- XVIII. Representação do Índice de Qualidade com base nos dados obtidos pela aplicação do sistema GVD
- XIX. Representação do Índice de Qualidade com base nos dados obtidos pela aplicação dos dois sistemas (inspeção visual a pé + GVD)