

Gestão da Conservação de Redes Rodoviárias Secundárias

Tânia de Oliveira Fartaria

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientadores: Prof. Dr. Luís Guilherme de Picado Santos

Prof. Dr. Vítor Faria e Sousa

Júri

Presidente: Prof. Dr. João Torres de Quinhones Levy

Orientador: Prof. Dr. Luís Guilherme de Picado Santos

Vogal: Prof. Dr. José Manuel Coelho das Neves

Outubro 2015

Agradecimentos

Quero agradecer a todos os que, direta ou indiretamente, prestaram a sua valiosa e insubstituível contribuição durante o meu percurso académico.

Aos meus orientadores, professores Luís Guilherme de Picado Santos e Vítor Faria e Sousa, quero agradecer por estarem sempre disponíveis e por me orientarem e apoiarem no desenvolvimento desta dissertação.

A Eng^a Eugénia Oliveira Lopes, Chefe da Divisão de Planeamento e Ordenamento do Território do Município de Ourém, agradeço por toda a disponibilidade e auxílios prestados durante o estágio curricular efetuado no âmbito da realização desta tese.

Do mesmo modo menciono todos os funcionários da Câmara Municipal de Ourém, por me terem ajudado e apoiado, em especial o Eng.º Tiago Marques pela enorme disponibilidade para a realização do levantamento da condição das vias de Ourém.

Ao departamento de engenharia da cidade de Fremont, agradeço pelas respostas a todas as minhas questões e por fornecer toda a informação possível.

Aos meus pais e a toda a minha família por me apoiarem e darem-me a oportunidade de realizar este curso, pois sem eles seria impossível. Ao meu irmão Tomás Fartaria, quero agradecer pela amizade e motivação ao longo destes anos.

A todos os meus colegas e amigos de Lisboa, Mariana Elói, Isabel Lopes, Eddy Pereira, Mariana Ribeiro, Susana Caeiro, Diogo Fonseca, Natasha Nazarali, entre outros, obrigada pelas conversas, piadas e conselhos ao longo destes anos de curso.

A todos os meus amigos da Loureira e arredores, Matilde Rosa, André Carreira, Anita Silva, Marta Moniz, Filipe Oliveira, Ana Rute Santos, Filipa Vieira, Phillippe Simão, Cristiano Antunes, Rita Vicente, Pedro Fartaria, Joel Francisco e Pedro Vicente um grande obrigado pela vossa amizade e por me ouvirem, apoiarem e divertirem incondicionalmente.

Por fim um especial agradecimento ao Carlos Neves pelo apoio, compreensão, dicas, conversas e gargalhadas ao longo de todos estes anos.

Resumo

Os Sistemas de Gestão de Pavimentos normalmente desenvolvidos tendem a exigir recursos humanos, técnicos e financeiros que não são comportáveis por um grande número de municípios, especialmente os de menor dimensão. Não deixando de ter a responsabilidade pela conservação da rede viária, era benéfico para estas entidades disporem de Sistemas de Gestão de Pavimentos simples e de funcionalização pouco dispendiosa que pudessem auxiliar a decidir de forma efetiva como, onde e quando aplicar os recursos para maximizar o serviço e a qualidade do serviço prestado pela rede viária.

Neste sentido, esta dissertação pretende desenvolver e implementar uma Ferramenta de Apoio à Decisão semelhante a um Sistema de Gestão de Pavimentos, mas mais simples e de fácil uso, com a finalidade de auxiliar os municípios nas actividades relativas à conservação da rede rodoviária. Esta ferramenta será aplicada à rede viária do Município de Ourém e a sua materialização envolve os seguintes passos principais: i) recolha de dados; ii) organização da base de dados; iii) previsão da condição do pavimento; iv) avaliação de estratégias e o plano de intervenção.

Neste trabalho conclui-se que é possível realizar levantamentos do estado actual dos pavimentos sem investir elevados recursos e de um modo simples. Os resultados obtidos recorrendo à Ferramenta de Apoio à Decisão permitem demonstrar como é importante aplicar medidas de conservação preventivas para garantir uma gestão adequada dos recursos de modo a evitar gastos desnecessários.

Palavras-chave: Sistema de Gestão de Pavimentos; Índice da Condição do Pavimento (PCI); Análise de *Clusters*; Ferramenta de Apoio à Decisão.

Abstract

The pavement management systems developed tend to require human, technical and financial resources that are not affordable by the vast majority of the municipalities, in particular the smaller ones. Still, they are responsible for maintaining the road network. For these organizations it would be highly beneficial to have simple and inexpensive Pavement Management Tool, or equivalent, that could assist in deciding effectively when, how and where apply the resources to carry out the required maintenance.

This work aims to develop and implement a decision support tool similar to a pavement management system, but simpler and easy to use to assist the municipalities in the activities related to the maintenance of their road network. This tool will be applied to the road network in the municipality of Ourém and its main steps are: i) data collection; ii) organizing the database; iii) calculation of PCI; iv) forecast pavement condition; and v) maintenance costs and assessment of the maintenance strategies.

In the conclusion of this study it is explained a way to carry out surveys of the present condition of the pavement without invest huge resources and using a simple process. The results obtained using the decision support tool demonstrate that it is possible to organize the application of preventive maintenance measures to ensure the possibility of making a proper resources management avoiding unnecessary expenses.

Keywords: Pavement Management System; Pavement condition index (PCI); Clusters models; Decision support tool.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivos e metodologia.....	2
1.3	Estrutura da dissertação	3
2	Sistemas de gestão de pavimentos rodoviários.....	5
2.1	Contexto histórico	5
2.2	Definição de Sistema de Gestão de Pavimentos.....	6
2.3	Estrutura de um SGP.....	6
2.3.1	Aquisição de dados	6
2.3.2	Base de dados rodoviária	9
2.3.3	Avaliação da qualidade	9
2.3.4	Custos de conservação.....	10
2.3.5	Modelação do pavimento	10
2.3.6	Avaliação de estratégias.....	12
2.3.7	Plano de intervenção	13
3	Ferramenta de Apoio à Decisão.....	14
3.1	Metodologia aplicada	14
3.2	Recolha de dados	14
3.2.1	Fontes de informação	14
3.2.2	Cidade de Ourém.....	15
3.2.3	Cidade de Fremont	21
3.3	Organização da Base de dados.....	24
3.4	Cálculo do parâmetro da condição global dos pavimentos.....	25
3.5	Previsão do comportamento dos pavimentos	26

3.6	Custos de conservação	27
3.7	Avaliação de estratégias	27
3.8	Interface da Ferramenta de Apoio à Decisão.....	28
4	Resultados e discussão.....	35
4.1	Considerações iniciais.....	35
4.2	Previsão do comportamento dos pavimentos	35
4.3	Custos de conservação	38
4.4	Avaliação de estratégias	38
4.4.1	Avaliação A - Troços mais degradados.....	38
4.4.2	Avaliação B - Aumento do custo de reabilitação.....	39
4.4.3	Avaliação C - Menor custo de reabilitação.....	41
4.4.4	Avaliação D - Qualidade inferior a um valor limite.....	42
4.5	Discussão dos resultados à luz das decisões do Município de Ourém	42
5	Conclusão e trabalhos futuros	44
5.1	Conclusão.....	44
5.2	Trabalhos Futuros.....	45
	Referências Bibliográficas	46
	Anexos.....	50

Índice de Figuras

Figura 2.1- Estrutura de um sistema de gestão de pavimentos (adaptado de Picado Santos et al. 2006)	7
Figura 2.2- Qualidade do pavimento traduzida pelo PCI (Kirbas e Gursoy 2010)	10
Figura 3.1- Diagrama da Ferramenta de Apoio à Decisão para redes rodoviárias secundárias.....	14
Figura 3.2- Variação da temperatura média mensal do ar em Ourém (Climate-Data.org 2015).....	16
Figura 3.3- Representação da temperatura média mensal do ar e da precipitação média mensal para Ourém (Climate-Data.org 2015).....	16
Figura 3.4- Variação da temperatura média mensal do ar em Fremont (Climate-Data.org 2015)	22
Figura 3.5- Representação da temperatura média mensal do ar e da precipitação média mensal para Fremont (Climate-Data.org 2015)	22
Figura 3.6- Método para calcular o PCI dos pavimentos do município de Ourém.....	25
Figura 3.7- Página inicial da Ferramenta de Apoio à Decisão de Ourém.....	29
Figura 3.8- Separador com a base de dados existente atualmente	29
Figura 3.9- Separador com o resultado do cálculo do PCI ₂₀₁₅	29
Figura 3.10- Separador para inserir novo levantamento e calcular o respetivo PCI	30
Figura 3.11- Separador que permite prever o comportamento dos pavimentos ao longo dos anos ...	30
Figura 3.12- Separador correspondente aos tipos de avaliação considerados.....	31
Figura 3.13- Separador que traduz a Avaliação A.....	32
Figura 3.14- Separador que traduz a avaliação B	32
Figura 3.15- Separador que traduz a avaliação C	33
Figura 3.16- Separador que traduz a avaliação D.....	33
Figura 4.1- Resultado da medição de silhueta de coesão e separação	36
Figura 4.2- Distribuição da degradação anual do <i>cluster</i> 3	37
Figura 4.3- Gráfico que relaciona a poupança garantida com o PCI de um troço reabilitado no respetivo ano de reabilitação.....	40

Índice de Quadros

Quadro 2.1- Família e tipo de degradações de pavimentos flexíveis (Pereira e Miranda, 1999)	8
Quadro 2.2- Classificação dos modelos de comportamento (Branco et al., 2011)	11
Quadro 3.1- Valores da temperatura e da precipitação médias mensais para Ourém (Climate-Data.org 2015).....	16
Quadro 3.2- Definição do estado global da via (Divisão de Obras Municipais 2006).....	17
Quadro 3.3- Tipo de reabilitação e respetivo preço unitário.....	18
Quadro 3.4- Orçamento disponível para a reabilitação de vias nos últimos anos.....	18
Quadro 3.5- Contagens de tráfego de 2013 (Ramos e Matos, 2013).....	20
Quadro 3.6- Resumo do volume de tráfego diário.....	20
Quadro 3.7- Valores da temperatura e da precipitação médias mensais para Fremont (Climate-Data.org 2015).....	22
Quadro 3.8- Média do TMDA de 2010 para cada tipo de via.....	23
Quadro 4.1- Constituição dos <i>clusters</i>	35
Quadro 4.2- Características dos <i>clusters</i>	37
Quadro 4.3- Variação da degradação anual em função do estado inicial	37
Quadro 4.4- Tipo de reabilitação associada ao intervalo do PCI.....	37
Quadro 4.5- Vias a reabilitar de acordo com a Avaliação A.....	39
Quadro 4.6- Resumo do custo de reabilitação e poupança por ano de investimento	40
Quadro 4.7 – Troços a reabilitar em cada ano de acordo com o orçamento anual e o ano a reabilitar definido	41
Quadro 4.8- Troços a reabilitar de modo a satisfazer a avaliação D	42
Quadro 4.9- Vias reabilitadas pelo Município de Ourém em 2015	43

Lista de Anexos

Anexo A- Vias analisadas identificadas no mapa do Município de Ourém	51
Anexo B- Exemplo de uma ficha do levantamento realizado em 2006	52
Anexo C- Orçamento detalhado da reabilitação do tipo 1.....	53
Anexo D. Orçamento detalhado da reabilitação do tipo 2	54
Anexo E- Classificação das vias por níveis do fluxo total de tráfego e do tráfego de pesados	55
Anexo F- Exemplo de uma ficha de levantamento de 2015.....	56
Anexo G- Exemplo da ficha de degradações	57
Anexo H- Vias Municipais e os respetivas estruturas de pavimentos e fundação	58
Anexo I- Classificação das vias de acordo com a qualidade de construção	59
Anexo J- Diagramas para dimensionar os pavimentos de Fremont (Fremont@ 2015).....	60
Anexo K- Diagramas para dimensionar os pavimentos de Fremont (Fremont@ 2015).....	61
Anexo L- Base de dados com os resultados do cálculo do PCI de 2006.....	62
Anexo M- Base de dados com os resultados do cálculo do PCI de 2015	64
Anexo N- Parte da base de dados de Fremont.....	65
Anexo O- Descrição da análise de cluster e do método Two-Step Cluster	66
Anexo P- Lista dos troços que o seu custo de reabilitação aumenta nos 3 anos de análise.....	68
Anexo Q- Troços a reabilitar em cada ano de acordo com o orçamento anual segundo a avaliação B	68
Anexo R- Troços a reabilitar em função do orçamento disponível segundo a avaliação C	69
Anexo S- Troços a reabilitar de acordo com o orçamento disponível segundo a avaliação D.....	69

Simbologia

IRI_t - Valor da irregularidade longitudinal do pavimento no ano t (mm/km)

R_t - Profundidade média das rodeiras no ano t (mm)

C_t - Área com fendilhamento e pele de crocodilo no ano t ($m^2/100m^2$)

S_t - Área com desagregação superficial de materiais (covas e peladas) no ano t ($m^2/100m^2$)

P_t - Área com reparações no ano t ($m^2/100m^2$)

N° de subtroços_{degradação} - Número de subtroços em que existe degradação

N° total de sub_troços - Relação entre o comprimento do troço (em metros) e 100 metros

N° Horas_{diurno} - Número de horas referente ao período diurno (15 horas)

Veículos_{diurno} - Número de veículos por hora no período diurno (veículos\h)

N° Horas_{noturno} - Número de horas referente ao período noturno (9 horas)

Veículos_{noturno} - Número de veículos por hora no período noturno (veículos\h)

Abatimentos₂₀₀₆ - Percentagem do troço que apresenta abatimentos no ano de 2006

Desagregações₂₀₀₆ - Percentagem do troço que apresenta desagregações no ano de 2006

Fendilhamentos₂₀₀₆ - Percentagem do troço que apresenta fendilhamento no ano de 2006

PCI_i - Valor do índice de condição do pavimento referente ao ano i

PCI_j - Valor do índice de condição do pavimento referente ao ano j

Lista de Siglas

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

ADTM- Average daily traffic media

APWA - American Public Works Association

CAT - Coeficiente de Atrito Transversal

CMO – Camara Municipal de Ourém

IP - Índices de Prioridade

IRI – Índice de Irregularidade Longitudinal

M&R - Management and Rehabilitation

PCI – Índice de condição do pavimento

SCRIM – Sideway force Coefficient Routine Investigation Machine

SGP - Sistema de Gestão de Pavimentos

SHRP -Strategic Highway Research Program

TMDA- Tráfico médio diário anual

1 Introdução

1.1 Enquadramento

A dinâmica das comunidades modernas assenta sobre um conjunto de infraestruturas que providenciam serviços essenciais para o seu funcionamento, nomeadamente o transporte de bens e pessoas, o abastecimento e drenagem de água, o fornecimento de energia e a comunicação. Neste contexto, as vias de comunicação constituem as infraestruturas que permitem o transporte de bens e pessoas, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento socioeconómico das comunidades e dos países.

Dentro das vias de comunicação, a rede viária é o segmento mais extenso e disperso, contribuindo decisivamente para uma maior equidade na possibilidade de desenvolver atividade económica ao nível local, regional, nacional e internacional. Como qualquer bem construído, os componentes da rede rodoviária estão sujeitos a um conjunto alargado de ações que resultam na sua degradação. Como tal, torna-se necessário proceder à sua conservação ou reabilitação de forma a garantir um serviço adequado.

Dada a extensão da rede rodoviária da maioria dos países, em especial os mais desenvolvidos, houve a necessidade de desenvolver estratégias e planear de forma eficiente e eficaz as intervenções devido ao esforço financeiro que representam. Por exemplo, de acordo com *2013 Report Card* (ASCE@ 2013) os mais de 6 milhões de quilómetros de estradas nos EUA necessitavam de um investimento anual de 170 mil milhões de dólares desde 2008 até 2028 para melhorar o seu estado de fraco (D+) para bom (B). Em Portugal entre 2005 e 2012 empregaram-se 602 milhões de euros em conservação periódica dos pavimentos, correspondendo a 28% dos investimentos na rede em termos de construção e conservação sob gestão direta (Ramalho 2013).

Historicamente, as entidades decidiam se as estradas deveriam ser mantidas ou reabilitadas “reagindo” à degradação e priorizando a intervenção atendendo à procura das secções (maior procura maior prioridade) e/ou satisfazendo preocupações das entidades oficiais induzidas em geral por reações dos utentes. A determinação das estradas que aparentavam estar em pior estado era em geral obtida por levantamentos não especializados pelo que as avaliações eram subjetivas. As áreas problemáticas identificadas pelos cidadãos também eram incluídas na definição dos programas de conservação (Washington State Department of Transportation 1994). Esta realidade ainda é muitas vezes seguida pelos municípios.

Atualmente, sabe-se que aplicar medidas de conservação preventiva, isto é, manter os pavimentos em boas a excelentes condições, implica um investimento total anual de cerca de 1/4 a 1/5 do custo de reabilitação de pavimentos deteriorados (Washington State Department of Transportation 1994). A principal razão é o facto de um pavimento em condições de baixa qualidade precisar de medidas de reabilitação em todos os elementos estruturais, incluindo a base e a sub-base, enquanto um pavimento em boas condições apenas necessita de medidas de conservação preventivas que consistem em reabilitar apenas a superfície do pavimento. Acresce que as estradas em estado

deficiente implicam custos acrescidos para os utilizadores, que nos EUA foram estimados em 324 \$/ano para cada motorista sem incluir os encargos com o combustível desperdiçado na eventualidade de ocorrerem congestionamentos decorrentes direta ou indiretamente da condição do pavimento (ASCE@ 2013).

Assim, para procurar decidir eficientemente face às usuais limitações de recursos financeiros, tem sido desenvolvidos Sistemas de Gestão de Pavimentos (SGP) com diferentes graus de complexidade e múltiplas funcionalidades.

Contudo, os SGP desenvolvidos tendem a exigir recursos humanos, técnicos e financeiros que não são comportáveis pela grande maioria dos municípios, em especial os com menores recursos. Seria benéfico para estas entidades disporem de Sistemas de Gestão de Pavimentos simples e de funcionalização pouco dispendiosa que pudessem ajudar a decidir de forma efetiva como, onde e quando aplicar os recursos para realizar a conservação necessária.

1.2 Objetivos e metodologia

As redes rodoviárias secundárias são, normalmente, vias com baixos volumes de tráfego sob a responsabilidade de entidades locais com um orçamento consideravelmente limitado. Visto que a maioria das entidades locais em Portugal não dispõe de um Sistema de Gestão de Pavimentos, esta dissertação tem como objetivo desenvolver e implementar uma Ferramenta de Apoio à Decisão para contribuir para melhorar a gestão das redes rodoviárias secundárias. A Ferramenta de Apoio à Decisão tem objetivos semelhantes aos geralmente atribuídos a um Sistema de Gestão de Pavimentos, mas é mais simples e de fácil uso com o fim de auxiliar os municípios nas atividades relativas à conservação da rede rodoviária.

A metodologia seguida visou desenvolver os principais elementos de um SGP sem implicar uma rotura profunda com as práticas das entidades locais. Para isso, a Ferramenta de Apoio à Decisão foi desenvolvida tendo como enfoque o caso de estudo da rede viária do Município de Ourém e envolveu:

- Recolha de dados;
- Organização da base de dados;
- Cálculo do parâmetro da condição global dos pavimentos;
- Previsão do comportamento dos pavimentos;
- Custos de conservação;
- Avaliação de estratégias.

Foram recolhidos dados das cidades de Ourém e de Fremont. Da cidade de Ourém recolheu-se informação através de: pesquisa, informação documental, informação disponível numa base de dados em postgresSQL acedida através do software SIG QGIS (QGis@ 2015) e realização de um levantamento. O conjunto de dados obtido permite descrever as características superficiais dos

pavimentos no ano de 2006 tais como: tipo de pavimentos, níveis de tráfego de cada troço analisado, condições climatéricas, custo de diferentes tipos de reabilitação e o orçamento disponível para a conservação de vias para um período de análise de 3 anos. O levantamento realizado permite descrever as características superficiais dos pavimentos no ano de 2015. Da cidade de Fremont recolheu-se informação através de pesquisa, obtendo-se o clima, tipo de pavimento, tráfego e o histórico do estado dos pavimentos traduzido pelo PCI. Organizando os dados relativos a Ourém numa base de dados e recorrendo a uma regressão polinomial é possível calcular um parâmetro de caracterização do estado global da superfície dos pavimentos, o PCI.

De modo a prever o comportamento dos pavimentos e sabendo que não existe um histórico dessa evolução com qualidade suficiente para Ourém, será necessário recorrer a dados existentes de outra cidade com uma rede e tráfego semelhantes de modo a extrapolar uma tendência de evolução do PCI e adotá-la para a cidade de Ourém. Após uma pesquisa em várias cidades do estado da Califórnia, seleccionou-se a cidade de Fremont, porque é a que apresenta mais semelhanças com a cidade de Ourém e o maior histórico de PCI das suas vias.

Em relação ao modelo de custo este apenas considera os custos de reabilitação dos pavimentos, sendo estes calculados considerando parte do comprimento e largura do troço e os custos unitários de diferentes tipos de reabilitação obtidos para a cidade de Ourém.

A avaliação de estratégias tem como objetivo seleccionar os troços prioritários a serem reabilitados, considerando um orçamento limite, podendo admitir-se várias avaliações: a avaliação A selecciona os troços mais degradados; a avaliação B selecciona os troços que se degradam ao longo do período de análise e que o seu custo de reabilitação aumenta; a avaliação C selecciona os troços com menor custo de reabilitação e a avaliação D selecciona todos os troços que apresentam um PCI inferior a um valor limite.

Para permitir a utilização fácil por parte dos técnicos das entidades municipais, todos os elementos da Ferramenta de Apoio à Decisão foram operacionalizados em Microsoft Excel. A folha de cálculo desenvolvida com recurso a macros permite introduzir novos levantamentos, calcular o PCI, prever o comportamento dos pavimentos e analisar os resultados das diferentes avaliações.

A folha de cálculo tem uma interface gráfica que guia o utilizador na introdução de dados e consulta de resultados, assegurando assim a consistência dos cálculos das macros desenvolvidas.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos. Este primeiro capítulo enquadra o tema, descreve o objetivo e a metodologia usadas, para além de apresentar a estrutura da dissertação. O segundo capítulo descreve os sistemas de gestão de pavimentos rodoviários, os seus componentes e as diferentes formas de funcionalização. O terceiro capítulo descreve a Ferramenta de Apoio à Decisão desenvolvida tendo em consideração o contexto particular da rede viária do Município de Ourém. No quarto capítulo analisam-se e discutem-se os resultados da aplicação da Ferramenta de

Apoio à Decisão ao caso de estudo. No quinto capítulo apresentam-se as principais conclusões e apontam-se os desenvolvimentos mais relevantes para dar continuidade ao trabalho desenvolvido.

Juntam-se ainda 19 anexos que reúnem informação complementar à referida no texto principal. A sua identificação faz-se neste quando apropriado.

2 Sistemas de gestão de pavimentos rodoviários

2.1 Contexto histórico

A necessidade de haver uma conservação estruturada e contínua dos pavimentos foi reconhecida em 1750 pelo engenheiro francês Pierre Tresaguet (Haas et al. 1994).

Ao longo dos anos verificou-se o aumento de quilómetros de pavimentos que se degradaram devido a fatores como o envelhecimento e o tráfego de camiões, o que implicou precisarem de medidas de reabilitação (Kulkarni e Miller 2003). Este é um desafio crescente que as agências responsáveis pelo estado dos pavimentos têm que confrontar, visto que as verbas disponíveis para a conservação dos pavimentos têm vindo a diminuir. Motivações como o impacto do estado dos pavimentos nos custos dos utentes e dos sociais (por exemplo, poluição e ruído) criaram a necessidade de planeamento e gestão dos recursos e verbas, o que originou os Sistemas de Gestão de Pavimentos. Os primeiros sistemas foram elaborados ao nível de projeto, com o objetivo de avaliar prioridades do projeto de reabilitação tendo como fatores o estado atual do pavimento e o tráfego. Estes sistemas não consideravam a evolução do estado do pavimento, isto é a previsão do comportamento dos pavimentos, nem uma análise económica. A perspetiva de definir prioridades ao nível de rede foi apenas considerada nos sistemas desenvolvidos no início de 1980, sendo o primeiro sistema desenvolvido pelo Departamento de Transportes do Arizona.

Os sistemas desenvolvidos no final da década de 1980 utilizavam técnicas de previsão do comportamento, otimização e seleção de intervenções a efetuar e sistemas de informação geográfica (SIG) para cumprir a sua tarefa (Butt et al. 1987; Grivas & Schultz 1994; Haas et al. 1994). Desde 1987 a 1992, foi desenvolvido o primeiro programa que avaliava as medidas de conservação e o desempenho geral dos pavimentos, o programa SHRP (Strategic Highway Research Program) (Halladay 1998). Noutro sentido, a AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) publicou vários guias de SGP, o primeiro em 1990 e o segundo em 2001 denominado de *Pavement Management Guide* (AASHTO 2001). Ao longo destes últimos anos, os SGP têm sido continuamente desenvolvidos e aplicados. Um dos SGP mais recentes é o PAVER, desenvolvido pela Universidade do Estado do Colorado, que é uma ferramenta informática com a base de dados do histórico das características estruturais de uma rede viária. De modo a caracterizar todo o pavimento com apenas um parâmetro, o PAVER recorre ao índice de condição do pavimento (PCI) calculado de acordo com a especificação ASTM D6433 "*Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*" (ASTM 2011). O modelo de previsão do comportamento do pavimento tem em conta um histórico de vários anos do valor do PCI e compara com o valor atual do PCI de cada pavimento, consoante estes tenham o mesmo tráfego, condições meteorológicas e tipo de pavimento. Este sistema tem duas formas para avaliar as estratégias possíveis. A primeira determina o que é possível ser realizado com um certo orçamento disponível, enquanto que a segunda define o orçamento necessário para alcançar um objetivo específico, por exemplo, um valor de PCI mínimo para toda a rede (Colorado State University@ 2008).

2.2 Definição de Sistema de Gestão de Pavimentos

De modo a definir um SGP a American Public Works Association (APWA) descreve que “um SGP é um método sistemático para colher, armazenar e recuperar o tipo de informação necessária sobre os pavimentos de modo a utilizar eficazmente o orçamento disponível para a conservação e construção” (Washington State Department of Transportation 1994).

Para Dewan (2004), um Sistema de Gestão de Pavimentos consiste numa avaliação frequente do estado dos pavimentos e engloba um largo conjunto de atividades que incluem o planeamento de investimentos em conservação e reabilitação de pavimentos.

2.3 Estrutura de um SGP

A estrutura de um SGP difere consoante se trata de aplicá-lo ao nível de projeto ou ao nível de rede (Branco et al., 2011). A diferença entre as duas estruturas é que ao nível da rede se pretende definir o plano de intervenções preventivas para um determinado período de planeamento (5, 10 ou 20 anos são períodos possíveis) minimizando os custos para obter uma determinada qualidade mínima e ao nível de projeto descreve-se detalhadamente o projeto de pavimentação nas secções a serem intervencionadas para todo o período de planeamento ou para a parte mais próxima do ano inicial, ou seja nos dois a três anos seguintes (Branco et al., 2011). Este nível usa muito mais informação sobre o pavimento, a tecnologia de pavimentação e respetivos custos.

A Figura 2.1 descreve a estrutura dum SGP ao nível de rede, nomeadamente apresentando todos os processos envolvidos, desde a aquisição de dados até à elaboração do plano de intervenção. Os objetivos principais de um SGP ao nível de rede são: identificar a prioridade dos troços a serem reabilitados, definir o orçamento necessário e prever o estado futuro da rede consoante o investimento considerado e as ações de conservação aplicadas (Branco et al., 2011).

2.3.1 Aquisição de dados

A caracterização do estado do pavimento obtém-se através de inspeção mecânica ou visual. A inspeção mecânica consiste em utilizar equipamentos que ao percorrerem uma via medem indicadores do estado do pavimento, tais como, o perfilómetro que permite obter o IRI, o SCRIM que mede o coeficiente de atrito transversal (CAT) entre outros (CAeMD 2013). A parte mais dispendiosa de um SGP é o levantamento de dados relativos às deformações do pavimento utilizando os equipamentos mencionados. Independentemente do tipo de levantamento que é realizado é importante garantir a qualidade dos dados, pois tem um grande impacto nas decisões suportadas pelo SGP (Flintsch e McGhee 2009). A inspeção visual é um método subjetivo que consiste em caracterizar o estado do pavimento tendo em conta apenas o que é possível visualizar à superfície. Deste modo a avaliação realizada por técnicos diferentes pode originar resultados distintos, como conclui Moore et al. (2001) no seu estudo aplicado à avaliação de pontes. A informação sobre o estado dos pavimentos que é utilizada num SGP é diferenciada pois depende dos dados existentes e do orçamento disponível para fazer os levantamentos. Os dados existentes variam consoante o tipo de pavimento.

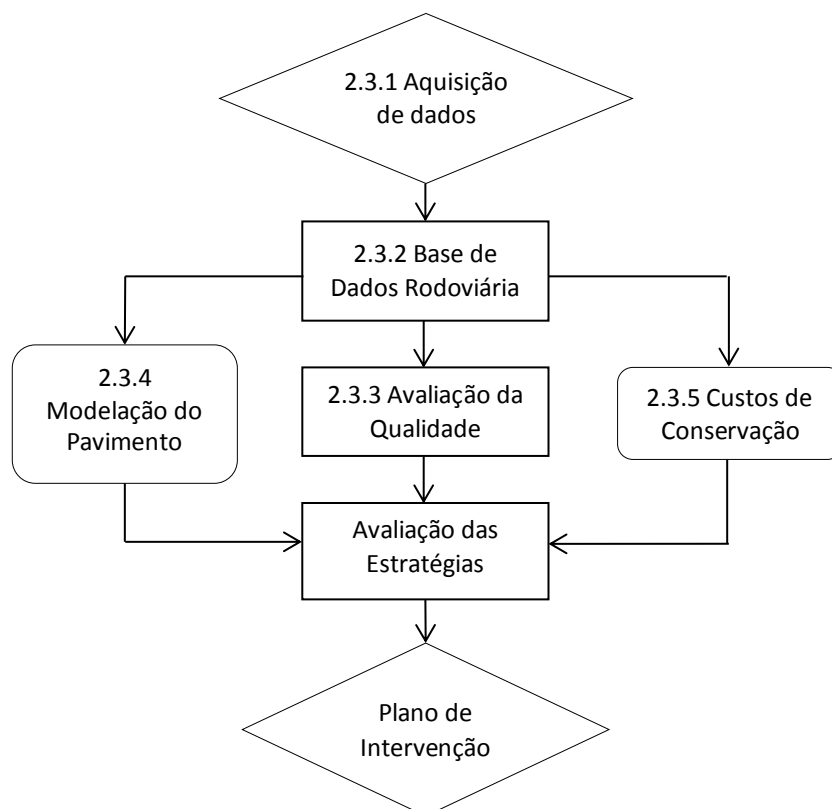


Figura 2.1- Estrutura de um sistema de gestão de pavimentos (adaptado de Picado Santos et al. 2006)

Os pavimentos podem ser de três tipos: flexíveis, semi-rígidos ou rígidos. Os pavimentos flexíveis são caracterizados como um conjunto de camadas em que a camada de desgaste é uma mistura betuminosa e a camada de base e a de sub-base é composta por material granular com ou sem ligante betuminoso. Os pavimentos rígidos têm uma camada de desgaste constituída por betão de cimento e a camada de base ou de sub-base é constituída por material granular com ou sem ligante hidráulico. Os pavimentos semi-rígidos têm uma constituição semelhante aos dois tipos de pavimentos anteriores, isto é, a camada de desgaste é constituída por misturas betuminosas, a camada de base são agregados estabilizados com ligante hidráulico e por fim pode ainda existir uma camada granular que forma a camada de sub-base (Branco et al., 2011).

Cada tipo de pavimento tem materiais diferentes e por isso responde e comportar-se de maneira diferente sujeito aos mesmos fatores. No Quadro 2.1 é possível verificar as quatro famílias de degradações dos pavimentos flexíveis. O fendilhamento é a família de degradações mais frequente que resulta da ação repetida dos veículos, provocando a fadiga dos materiais das camadas betuminosas. A existência de fendilhamento permite a entrada de água nas camadas inferiores o que origina uma redução da capacidade de suporte e o desempenho das camadas granulares, o que acelera o processo de degradação do pavimento. De modo a evitar este problema pode-se optar por aplicar medidas de conservação preventiva, como por exemplo, pôr uma camada de impermeabilização, que evita a entrada de água no pavimento (Branco et al., 2011).

Quadro 2.1- Família e tipo de degradações de pavimentos flexíveis (Pereira e Miranda, 1999)

Família de Degradações	Tipo de Degradações
Deformações	<ul style="list-style-type: none"> – Abatimentos – Deformações localizadas – Ondulação – Rodeiras – Longitudinal – Transversal – Berma – Eixo – Grande raio (devido às camadas inferiores) – Pequeno Raio (devido às camadas superiores)
Fendilhamento	<ul style="list-style-type: none"> – Fendas – Pele de Crocodilo – Fadiga – Longitudinais – Transversais – Parabólicas – Malha fina (≤ 40 cm) – Malha larga (≥ 40cm) – Berma – Eixo
Desagregação da camada de desgaste	<ul style="list-style-type: none"> – Desagregação Superficial – Cabeça de gato – Pelada – Ninhos (covas)
Movimento de materiais	<ul style="list-style-type: none"> – Exudação – Subida de finos

Os pavimentos rígidos, como foi referido anteriormente, são constituídos por lajes, existindo por isso juntas longitudinais e transversais. Deste modo as principais degradações são o fendilhamento das lajes, desagregação superficial e o escalonamento das lajes (Branco et al., 2011). O fendilhamento pode surgir devido à retração das lajes por ação da temperatura e o encurvamento devido à diferença de temperatura entre a face superior e inferior da laje. Sendo as lajes de betão conhecidas por terem baixa resistência à tração, estas irão alcançar a fadiga devido à repetição das cargas dos veículos que originam tensões de tração, o que também provoca o fendilhamento. Em relação à desagregação superficial pode acontecer nas juntas ou na laje. No caso das juntas acontece devido ao facto de as lajes estarem demasiado juntas ou a selagem das juntas ser ineficiente. A desagregação na laje abrange a saída de agregados e peladas, provocadas pela ação repetitiva dos veículos ou a aplicação de matérias de qualidade inadequada. Por fim o escalonamento das lajes consiste na movimentação vertical das lajes que acontece devido à ação repetida de cargas. Esta degradação permite a entrada de água pela juntas e com o movimento das lajes provocando a saída de água e materiais finos, conhecida como a bombagem de finos (Branco et al., 2011).

Assim para caracterizar o estado dos pavimentos deve-se ter em consideração o tipo de pavimento existente, pois este influencia as diversas degradações a considerar.

2.3.2 Base de dados rodoviária

Uma base de dados de um Sistema de Gestão de Pavimentos é uma lista de informação que caracteriza uma rede rodoviária. Uma lista contém vários parâmetros que correspondem a um valor único para cada troço, por exemplo: identificador único (ID); dimensões da via; tráfego de pesados; irregularidade longitudinal; irregularidade transversal; características de drenagem, entre outros. Estes parâmetros são obtidos através de levantamentos que são distintos de acordo com o tipo de pavimento. As principais funções de uma base de dados são armazenar os dados recolhidos e fornecer informação para a modelação do pavimento, a avaliação da qualidade e a determinação dos custos de conservação (Schacke e Ertman Larsen 1987).

2.3.3 Avaliação da qualidade

A avaliação da qualidade pretende determinar um parâmetro que caracterize a qualidade global do estado dos pavimentos. De acordo com a base de dados existente é possível optar por um parâmetro que se baseia nos resultados das inspeções visuais, o PCI, ou um parâmetro que considera os resultados das inspeções mecânicas, o PSI.

O SGP realizado para a cidade de Lisboa considera o PSI_t , “present serviceability index”(Picado Santos et al. 2004) no ano t descrito pela equação 2.1

$$PSI_t = 5 * e^{\frac{t-0,0002598*IRI_t}{4}} - \frac{0,002139}{4} * R_t^2 - 7 * 0,03 * (C_t + S_t + P_t)^{0,5} \quad (2.1)$$

em que:

IRI_t - valor da irregularidade longitudinal do pavimento no ano t (mm/km);

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

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

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

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

Por outro lado Kirbas e Gursoy (2010) ao desenvolver um SGP para a cidade de Besiktas (Turquia) consideram o PCI como parâmetro global para descrever o estado do pavimento. Este parâmetro pretende avaliar a condição da superfície integridade do pavimento. Para calcular o valor deste parâmetro é utilizado o manual ASTM D6433 (ASTM 2011). O PCI é um índice que descreve o estado do pavimento avaliando simultaneamente a quantidade, densidade e o tipo de degradações existentes na superfície do pavimento. Existem duas escalas diferentes que caracterizam os pavimentos consoante o valor do PCI, a primeira escala é a padrão que avalia os pavimentos em sete categorias diferentes e a segunda escala é a comum que classifica somente com três categorias (Figura 2.2).

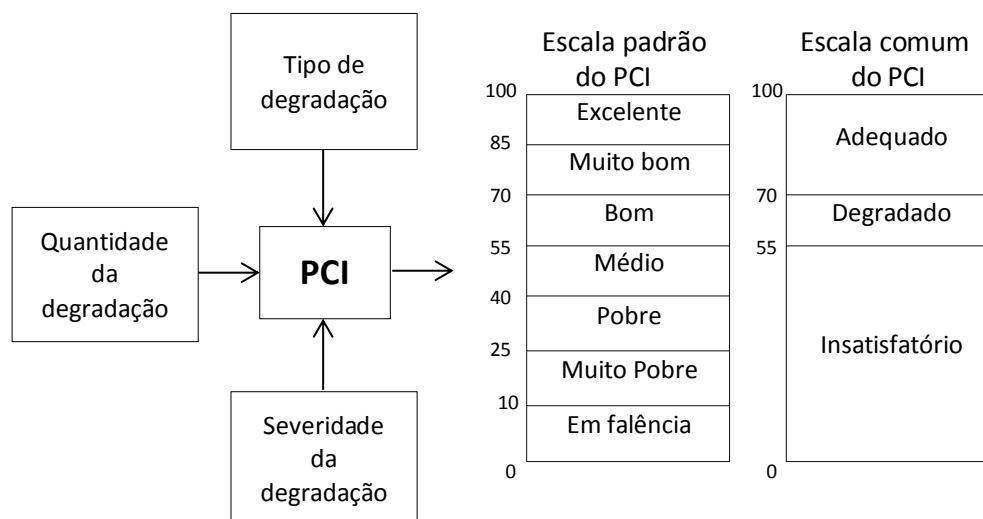


Figura 2.2- Qualidade do pavimento traduzida pelo PCI (Kirbas e Gursoy 2010)

2.3.4 Custos de conservação

Os custos de conservação poderão abranger as despesas a suportar pela entidade responsável pelas ações de conservação e os prejuízos causados aos utilizadores. Em relação aos custos associados à entidade responsável, estes variam consoante se adote uma estratégia de conservação preventiva ou corretiva (Pardal 2014). A conservação preventiva é a melhor opção para manter um pavimento em boas condições e consiste em aplicar medidas de conservação antes de um pavimento atingir o limite crítico de qualidade. As ações de prevenção tratam problemas superficiais (fendas, rodeiras, entre outros) e são menos dispendiosas, pois são intervenções que apenas incidem na superfície do pavimento. Já a conservação corretiva é aplicada quando um pavimento alcança um nível baixo de qualidade, isto é, tem que se aplicar camadas novas ou demolição de parte do pavimento e reconstrução, sendo este tipo de ações bastante dispendioso.

Os custos relacionados com os utilizadores resumem-se a: prejuízo existente no veículo provocado pela rugosidade do pavimento; impacto do congestionamento do tráfego e desvios causados pelas atividades de conservação (Kulkarni e Miller 2003). Os primeiros sistemas de análise económica apenas consideravam os custos de ações de conservação, isto é, os custos para o utilizador não eram contabilizados. Os sistemas atuais consideram todo o tipo de custos envolvidos (Kulkarni e Miller 2003).

2.3.5 Modelação do pavimento

Para que o SGP considere um período de análise plurianual é essencial prever a evolução do comportamento dos pavimentos. Para isso deve-se encontrar um modelo que descreva esta evolução, isto é, que determine o PCI ou PSI dos pavimentos nos vários anos do período de análise. Segundo Freitas e Pereira (2001) os modelos de comportamento dos pavimentos classificam-se com base nos seguintes fatores (Quadro 2.2): nível de aplicação, tipo de variáveis dependentes, tipo de variáveis independentes, formato conceptual e tipo de formulação.

Quadro 2.2- Classificação dos modelos de comportamento (Branco et al., 2011)

Nível de aplicação	Tipo de variáveis dependentes	Tipo de variáveis independentes	Metodologia de concepção	Tipo de formulação
Projeto	Globais	Absolutos	Empírico	Determinístico
Rede	Paramétricos	Relativos	Mecanicista Empírico-Mecanicista	Probabilístico

Como foi referido no subcapítulo 2.3, os modelos de comportamento têm funções e objetivos diferentes consoante o nível de aplicação, isto é, ao nível de rede ou de projeto. Ao nível de rede, estes modelos prevêem o estado futuro dos pavimentos de modo a determinar o plano de intervenções para um determinado período de análise. Ao nível de projeto, estes modelos ajudam a determinar quais as medidas de conservação a executar para troços duma rede (Branco et al. 2011).

Em relação ao tipo de variáveis dependentes utilizadas, existem modelos globais que caracterizam o estado do pavimento em termos gerais, utilizando apenas um índice, por exemplo PCI, e modelos paramétricos que utilizam diversos índices para caracterizar o estado do pavimento.

De acordo com as variáveis independentes envolvidas, os modelos podem ser classificados como relativos ou absolutos. Os modelos relativos consideram uma variável independente, como por exemplo anos de serviço ou o tráfego existente, e também parâmetros que caracterizam um pavimento medidos ao longo dos anos de serviço. Já os modelos absolutos são muito mais complexos e difíceis de aplicar devido à dificuldade em determinar a importância relativa e a interação das diferentes variáveis independentes consideradas (e.g., espessura das camadas, módulos de deformabilidade, clima, tráfego, características da mistura) na evolução do estado dos pavimentos (Branco et al. 2011).

Observando o Quadro 2.2 ainda é possível classificar os modelos de comportamento segundo a metodologia de concepção (Branco et al. 2011). Se a metodologia for teórica tem-se métodos mecanicistas, se for experimental tem-se métodos empíricos e se for uma metodologia teórica com uma avaliação experimental então tem-se métodos empírico-mecanicistas.

Por fim classificam-se os modelos segundo a sua formulação, isto representa se a degradação dos pavimentos é descrita por um modelo determinístico ou modelo probabilístico. Os modelos determinísticos determinam um parâmetro que caracteriza o estado global do pavimento ou o grau de degradação, enquanto os modelos probabilísticos calculam também a probabilidade de o pavimento permanecer em cada estado. Os modelos empíricos abrangem métodos como, extrapolação linear, regressão linear e não linear múltipla entre outros. Os modelos empírico-mecanicistas consideram avaliação estatística com resposta linear ou polinomial do pavimento; regressão polinomial e métodos de Bayes. Os modelos probabilísticos consideram metodologia de Bayes e de Markov. Todos os métodos mencionados anteriormente baseiam-se em algoritmos numéricos que consideram grandes bases de dados (Branco et al. 2011).

As regressões lineares têm sido amplamente utilizadas (George et al. 1989; Ortiz-garcía et al. 2006; Yu et al. 2007) e consideram que pavimentos com as mesmas condições iniciais desenvolvem-se e chegam ao mesmo estado futuro. Em relação aos modelos de Bayes, de acordo com Branco et al. 2011, estes permitem combinar as características analisadas nos pavimentos e a apreciação de especialistas, para desenvolver modelos de evolução do comportamento de pavimentos. Por outro lado, o modelo de Markov (Alves e Delgado, 1997) é um processo estocástico que considera um conjunto de objetos e um conjunto de estados, em que cada objeto está num estado e a transição entre os estados dos objetos só depende do estado atual, isto é, não interessam os estados anteriores do objeto. A probabilidade de um objeto passar de um estado para outro é designada por probabilidade de transição. O conjunto das probabilidades de transição forma a matriz de transição de probabilidade que é uma ferramenta que prevê o estado futuro do pavimento. Esta matriz é específica para uma determinada estrutura do pavimento e classificação da estrada. Este modelo tem sido utilizado em projetos como (Butt et al. 1987; Yang et al. 2005).

Para prever o comportamento dos pavimentos também são utilizados princípios de inteligência artificial, como Sistemas Inteligentes (SI), Redes Neurais (RN) e modelos Fuzzy Logic. Os Sistemas Inteligentes são programas de computadores interativos que conjugam os conhecimentos de uma determinada especialidade de modo a resolver um problema específico (Ritchie 1996). A utilização de SI em sistemas de gestão de pavimentos pode ser observada nos projetos de cálculo designado por ROSE (Hajek et al. 1988).

As redes neurais têm sido amplamente utilizadas (Al Sugair e Al-Qudrah 1998; Fwa e Chan 1993) e são inspiradas no funcionamento do sistema nervoso humano, em que a informação é processada em diversos neurónios interligados entre si até produzirem um resultado final. Neste processamento as várias ligações têm importâncias distintas e o processamento dos sinais de entrada em cada neurónio seguem regras particulares variáveis que ditam o sinal de saída. Apesar da diversidade de tipos de redes neuronais e dos elementos que as compõem, as redes perceptrão multicamada são das mais utilizadas e podem ser assemelhadas a regressões não-lineares múltiplas em que a função matemática da regressão não tem de ser conhecida à partida. Estas redes procuram identificar padrões sem estarem condicionados por relações entre as variáveis. Como tal não há uma base física/mecanicista subjacente às redes neuronais, mas apenas uma minimização do erro entre o estimado pela rede e o observado (Sousa 2012).

2.3.6 Avaliação de estratégias

A avaliação de estratégias pretende selecionar os troços prioritários a serem reabilitados, considerando um orçamento limite. Considera-se que existem dois tipos de metodologias para selecionar projetos (priorizar a ordem de intervenção na rede): modelos de seleção de projetos e modelos de otimização de redes (Lima 2007). O modelo de seleção de projetos é um modelo que ordena as secções do pavimento consoante um fator de *ranking*, por exemplo, índices de prioridade (IP), que tem em consideração o estado global do pavimento descrita pelo tipo e quantidade de deformações superficiais, tipo de pavimento, volume de tráfego, entre outros. No caso de critérios de ranking mais complexos consideram-se fatores como o atrito, capacidade estrutural entre outros. Este modelo pode ser desenvolvido para analisar apenas o ano presente ou para vários anos. Para desenvolver um plano de atividades de conservação para vários anos é necessário utilizar modelos

para prever o comportamento do pavimento (usando os métodos mencionados no subcapítulo 2.3.5) (Lima 2007). Por exemplo, o "Multiyear prioritization method" é um método que compara diferentes ações de conservação aplicadas em momentos diferentes utilizando rácios de custo-eficácia, custo-benefício. Tem como objetivo determinar o melhor desempenho dos pavimentos para um determinado período de tempo (Gao 2004).

O modelo de otimização de redes tem como objetivo selecionar as estratégias de conservação que maximizam o desempenho da rede ou minimizam os custos. Para determinar qual a medida de conservação que deve ser aplicada numa secção do pavimento, utilizam-se variáveis de decisão, isto é, parâmetros que caracterizam o estado do pavimento. Este modelo pode ser aplicado apenas para o ano atual ou para múltiplos anos, utilizando para isso métodos para prever o comportamento dos pavimentos. Normalmente, o método utilizado é o de otimização de redes, no entanto, este método também tem as suas desvantagens pois é muito complexo (Lima 2007). De acordo com Zimmerman (1995) a maior parte das empresas de M&R de pavimentos dos Estados Unidos, Porto Rico e Canadá utilizam o método de análise de ranking do estado do pavimento.

2.3.7 Plano de intervenção

Considerando todas as componentes do SGP descritos anteriormente é possível obter o resultado final de um SGP, o plano de intervenção, que define o momento em que se deve reabilitar cada via selecionada, qual o tipo de reabilitação mais apropriado, os custos associados entre outras informações.

3 Ferramenta de Apoio à Decisão

3.1 Metodologia aplicada

A Ferramenta de Apoio à Decisão aplicada à rede viária do Município de Ourém visa contribuir para melhorar a gestão das redes rodoviárias secundárias. Esta ferramenta segue uma metodologia (Figura 3.1) que assenta na estrutura de um SGP. Nos seguintes subcapítulos é descrita cada fase da metodologia aplicada.

Para garantir a utilização fácil por parte dos técnicos das entidades municipais, todos os elementos da Ferramenta de Apoio à Decisão foram operacionalizados em Microsoft Excel. A folha de cálculo tem uma interface gráfica que guia o utilizador na introdução de dados e consulta de resultados, assegurando assim a consistência dos cálculos das macros desenvolvidas. Todas estas funcionalidades e a interface desta ferramenta serão descritas no subcapítulo 3.8. De modo a que toda a ferramenta seja compreendida pelos funcionários do município todos os termos, expressões e definições, que são mencionados nos documentos obtidos na câmara, serão mantidos neste trabalho.

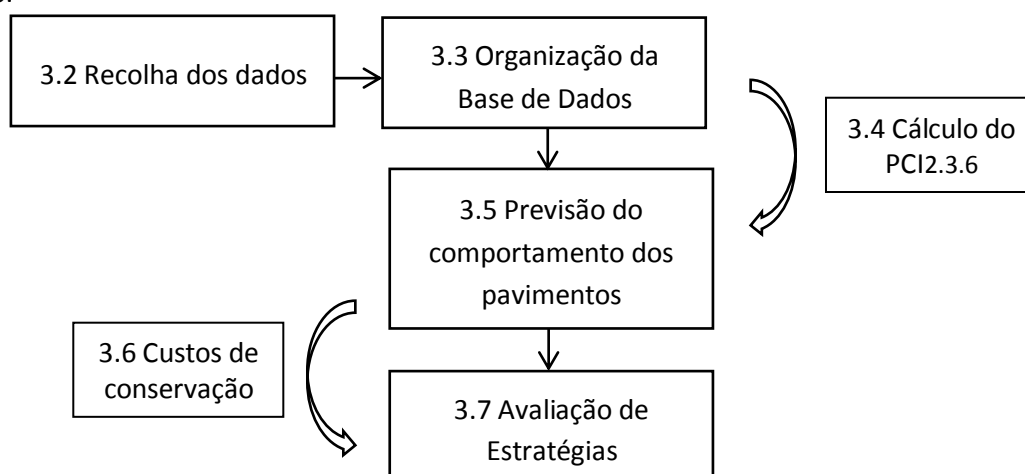


Figura 3.1- Diagrama da Ferramenta de Apoio à Decisão para redes rodoviárias secundárias

3.2 Recolha de dados

3.2.1 Fontes de informação

Foram recolhidos dados das cidades de Ourém e de Fremont. Da cidade de Ourém recolheu-se informação através:

- Pesquisa;
- Informação documental;
- Informação numa base de dados em postgresSQL acedida através do software SIG QGIS(QGis@2015);
- Realização de um levantamento.

A pesquisa permitiu caracterizar a cidade de Ourém consoante a sua localização, área, população e clima. A informação documental existente é composta por: um levantamento do estado do pavimento de 24 vias municipais realizado em 2006; obras realizadas por empreitada desde 2000; custo aproximado de cada tipo de reabilitação e dois estudos de ruído realizados em anos diferentes. A informação existente na base de dados permitiu localizar e identificar todas as vias e também caracterizar o seu comprimento. Por fim, a realização do levantamento consiste na inspeção visual e foi efetuado em 2015 com a ajuda de um funcionário do município que garantiu a correta identificação de cada via. Este levantamento permitiu atualizar a informação existente sobre o estado superficial dos pavimentos das 24 vias analisadas em 2006 e serve para aplicar na Ferramenta de Apoio à Decisão. Tendo em conta a experiência de alguns funcionários do município, foi possível documentar o tipo de pavimento existente nas vias avaliadas no levantamento.

Para prever a evolução do comportamento dos pavimentos requer-se a existência de um histórico do estado do pavimento, neste caso o histórico do valor do PCI, indisponível no município de Ourém onde apenas existem dois anos de levantamentos e para um número reduzido de troços da rede. Neste contexto, e para evitar utilizar um modelo de previsão exclusivamente pericial, admitiu-se a possibilidade de extrapolar a tendência de evolução do PCI de uma rede do tipo municipal comparável à de Ourém em termos de tipos de pavimentos, tráfego e clima e que tenha uma base de dados com um histórico de vários anos para o estado dos pavimentos. Concentrando a pesquisa em cidades dos EUA, mais concretamente do estado da Califórnia, a cidade de Fremont foi a que disponibilizava informação sobre todos os requisitos necessários e apresentava maiores semelhanças com a cidade de Ourém. Toda a informação sobre a cidade de Fremont foi obtida através de pesquisa em dois sites o (Fremont@ 2015) e (Climate-Data.org 2015) e contactando o departamento de Engenharia da cidade de Fremont.

3.2.2 Cidade de Ourém

Ourém é uma cidade que pertence ao distrito de Santarém, região Centro e sub-região do Médio Tejo. Esta cidade abrange uma área de 416,68 km²(Instituto Geográfico Português 2013), uma população de 45 932 habitantes (INE 2012) e encontra-se dividida por 13 freguesias (Diário da República 2013). O clima de Ourém é quente a temperado em que a temperatura média é de 15,8°C e a pluviosidade média anual é de 824mm. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger a classificação do clima é Csb (Climate-Data.org 2015). O facto de ser Cs significa que é um clima mediterrânico que consiste num clima temperado com estação seca no verão. Como o sub-tipo é Csb indica que o clima tem temperatura no mês mais frio abaixo de 18°C, nos três meses mais frios maiores que -3°C e no mês mais quente entre 10°C e 22°C (Kottek et al. 2006). Na Figura 3.2 é possível verificar que o mês mais quente do ano é o mês de agosto com uma temperatura média de 21,8°C. Por outro lado o mês com a temperatura mais baixa é janeiro com 10,2°C. O mês mais seco é julho com uma precipitação de 7mm e o mês com maior precipitação é janeiro com 120mm (Figura 3.3). Observando no Quadro 3.1 verifica-se que a diferença de precipitação entre o mês mais chuvoso e o mês mais seco é de 113 mm e que as temperaturas médias variam 11,6°C.

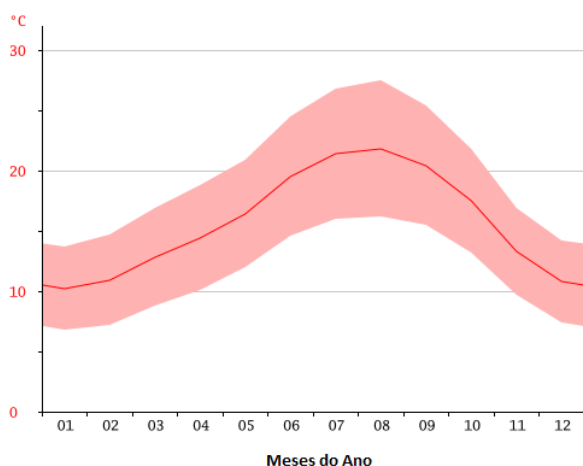


Figura 3.2- Variação da temperatura média mensal do ar em Ourém (Climate-Data.org 2015)

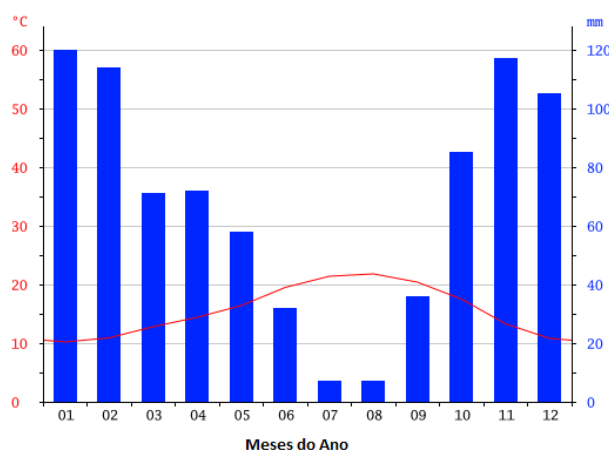


Figura 3.3- Representação da temperatura média mensal do ar e da precipitação média mensal para Ourém (Climate-Data.org 2015)

Quadro 3.1- Valores da temperatura e da precipitação médias mensais para Ourém (Climate-Data.org 2015)

Mês		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Precipitação (mm)		120	114	71	72	58	32	7	7	36	85	117	105
Temperatura (°C)	Média	10,2	10,9	12,8	14,4	16,4	19,5	21,4	21,8	20,4	17,5	13,3	10,8
	Mínima	6,8	7,2	8,8	10,1	12,0	14,6	16,0	16,2	15,5	13,2	9,7	7,4
	Máxima	13,7	14,7	16,9	18,8	20,9	24,5	26,8	27,5	25,4	21,8	16,9	14,2

Através da informação documental é possível analisar o levantamento do estado dos pavimentos realizado pelos serviços da CM em 2006 (Divisão de Obras Municipais 2006). Este levantamento abrange 24 estradas municipais (EM) (Anexo A) em que cada via está dividida em vários troços. Uma ficha do levantamento de 2006 (Anexo B) permite identificar todos os 100 metros de cada via onde existem fendilhamentos, abatimentos, desagregações, “lombas”, presença de raízes, problemas de drenagem, sistemas de drenagem superficial obstruída e uma avaliação do estado global da via em quatro estados: muito mau, mau, razoável e bom (Quadro 3.2). Em relação às deformações designadas por “lombas”, tratam-se de deformações transversais existentes devido à construção da rede de águas residuais. Como as “lombas” e a presença de raízes são dois tipos de degradações que não evoluem com a ação do tráfego, não serão consideradas para integrar a base de dados a criar.

Quadro 3.2- Definição do estado global da via (Divisão de Obras Municipais 2006)

Estado Global da Via	
Bom	Pavimento sem sinais visíveis de degradação, apresentando geralmente um pavimento "liso" (sem abatimentos), ausência de fendilhamento e lombas
Razoável	Pavimento sem sinais visíveis consideráveis de degradação, podendo surgir pontualmente abatimentos, fendilhamento e lombas
Mau	Pavimento com sinais de degradação generalizada, apresentando com frequência patologias a nível de abatimentos, fendilhamento, lombas, águas freáticas, drenagem das águas pluviais e desagregações pontuais.
Muito Mau	Pavimento em situações extremas de degradação, evidenciando falhas graves ao nível de betuminoso, dos abatimentos e acentuado agravamento das patologias referidas no item anterior

De modo a organizar os dados existentes numa base de dados, em xls, determina-se a percentagem de cada degradação nos troços. O comprimento de cada troço é igual ao definido pelo levantamento de 2006. Cada troço é dividido em subtroços com comprimentos de 100 metros e durante o levantamento são identificados os tipos de degradação existentes em cada subtroço. Assim a equação 3.1 descreve a percentagem a considerar para cada degradação em cada via.

$$Degradação(\%) = \frac{N^{\circ} \text{ de subtroços}_{degradação}}{N^{\circ} \text{ total de sub}_{troços}} * 100 \quad (3.1)$$

em que:

$N^{\circ} \text{ de subtroços}_{degradação}$ – Número de subtroços em que existe degradação;

$N^{\circ} \text{ total de sub}_{troços}$ - Relação entre o comprimento do troço (em metros) e 100 metros.

Por exemplo, considerando um troço com dois quilómetros em que apresenta fendilhamento no quilómetro 1; 1,2 e 1,4; isto é, três sub-troços de 100m têm fendilhamento. Assim o número total de sub-troços é dado pelo resultado da equação 3.2.

$$N^{\circ} \text{ total de sub}_{troços} = \frac{2000 \text{ metros}}{100 \text{ metros}} = 20 \quad (3.2)$$

Logo a percentagem de fendilhamento é dada pela equação 3.3.

$$Fendilhamento(\%) = \frac{3}{20} * 100 = 15\% \quad (3.3)$$

Resumindo, 15% do troço considerado apresenta fendilhamento. Do mesmo modo aplicam-se as mesmas equações para os abatimentos e desagregações de todos os troços presentes no levantamento de 2006. Os resultados destes cálculos são introduzidos na base de dados realizada em xls.

Na informação documental também foi possível encontrar a base de dados das obras realizadas por empreitada desde 2000, o que permitiu definir quais as vias reabilitadas antes e depois de 2006, sendo incluídas na base de dados desenvolvida. Ainda recorrendo à informação documental existente analisaram-se vários mapas de trabalhos relativos a obras de conservação de pavimentos com o objetivo de definir custos unitários para reabilitações de pavimentos com diferentes condições. Neste sentido, foram definidos dois custos unitários para a reabilitação de pavimentos com alguma ou frequente presença de fendilamentos e abatimentos (Anexo C e Anexo D). Como não foram encontrados mapas de trabalhos que aplicassem medidas de conservação preventiva a pavimentos pouco degradados, considera-se que um pavimento com fendilamentos e abatimentos dispersos têm um custo unitário de 8€/m², cerca de metade da reabilitação do tipo de degradação 2, que corresponde a aplicar reparações localizadas. Deve-se ter em conta que os preços mencionados no Quadro 3.3 poderão variar devido a fatores como a dimensão da obra, entre outros, pois grandes obras têm frequentemente preços unitários mais baixos.

Quadro 3.3- Tipo de degradação e custo unitário da reabilitação respectiva

Tipo de degradação	Características dos pavimentos	Custo unitário da reabilitação do tipo da degradação (€/m ²)
1	Fendilamentos, abatimentos dispersos	8,00
2	Fendilamentos, abatimentos e desagregações com alguma frequência	15,00
3	Abatimentos, fendilhamento e desagregações com muita frequência e necessidade de saneamento frequente	22,00

Analisando os procedimentos realizados pelo Gabinete de Contratação Pública dos anos de 2010 (GCP 2010) a 2014 foi possível discriminar o orçamento disponível para 3 anos que a Câmara de Ourém tem investido na reabilitação de pavimentos rodoviários. Este orçamento é referente a toda a rede a cargo do município.

Quadro 3.4- Orçamento disponível para a reabilitação de vias nos últimos anos

Orçamento dispensado para reabilitação de vias			
	Para 3 anos		Para 1 ano
	Total	Média	Média
2010-2013	4.766.826		
2011-2014	7.372.332		
2012-2015	8.110.722	6.458.961	2.152.987
2013-2016	7.006.227		
2014-2017	5.038.700		

Por fim na informação documental existente é possível encontrar dois estudos de ruído, de anos diferentes, que contém algumas contagens de tráfego e que iram permitir conhecer qual o tráfego existente nas vias de Ourém. O mapa do ruído de 2006 (Ramos et al. 2006) apenas descreve a contagem de tráfego de uma das vias presente no levantamento de 2006. Consequentemente e por ser o estudo mais recente apenas se avalia a informação existente no Estudo do Ruído de 2013 (Ramos e Matos 2013). Assim resume-se no Quadro 3.5 a informação relevante no estudo do ruído de 2013 que é referente às 24 vias e às vias classificadas como EM. A contagem de tráfego foi realizada em dois períodos, o período de referência diurno e o noturno. O período diurno corresponde ao horário das 7:00 às 22:00, que equivale a quinze horas e o período noturno refere-se das 22:00 às 7:00, nove horas. Considera-se o Quadro 3.5 e determina-se o volume de tráfego diário, isto é, o número de veículos por dia, recorrendo à equação 3.4:

$$\mathbf{Veículos}_{diários} = \mathbf{N}^{\circ}\mathbf{Horas}_{diurno} * \mathbf{Veículos}_{diurno} + \mathbf{N}^{\circ}\mathbf{Horas}_{noturno} * \mathbf{Veículos}_{noturno} \quad (3.4)$$

em que:

$N^{\circ}Horas_{diurno}$ - Número de horas referente ao período diurno (15 horas);

$Veículos_{diurno}$ - Número de veículos por hora no período diurno (veículos\h);

$N^{\circ}Horas_{noturno}$ - Número de horas referente ao período noturno (9 horas);

$Veículos_{noturno}$ - Número de veículos por hora no período noturno (veículos\h).

Determina-se o número de pesados por dia utilizando a equação 3.5

$$\mathbf{Pesados}_{diários} = (\mathbf{N}^{\circ}\mathbf{Horas} * \mathbf{Veículos} * \%pesados)_{diurno} + (\mathbf{N}^{\circ}\mathbf{Horas} * \mathbf{Veículos} * \%pesados)_{noturno} \quad (3.5)$$

em que:

$N^{\circ}Horas$ - Número de horas referente ao período diurno e noturno, respetivamente;

$Veículos$ - Número de veículos por hora no período diurno e noturno, respetivamente;

$\%pesados$ - Percentagem dos veículos por hora que correspondem a veículos pesados no período diurno e noturno, respetivamente.

Aplicaram-se as equações mencionadas anteriormente e obtiveram-se os resultados descritos no Quadro 3.6. Como se pode verificar não existe informação sobre o tráfego de todas as vias consideradas nesta dissertação, assim considera-se a classificação que um engenheiro do município realizou de acordo com a sua experiência, classificando cada via com o nível de TMDA e o nível de tráfego de pesados. Analisa-se as vias existentes com contagens de tráfego e relaciona-se o número de veículos diários com o nível de TMDA (Anexo E). Assim, calculando a média e arredondando, o nível 1 de TMDA corresponde a cerca de 1.500 veículos por dia, o nível 2 corresponde a 2.800 veículos por dia e o nível 3 corresponde a 4.200 veículos por dia. O mesmo raciocínio pode ser

aplicado para o nível de tráfego de pesados (Anexo E). Esta informação também será integrada na base de dados anteriormente referida.

Quadro 3.5- Contagens de tráfego de 2013 (Ramos e Matos, 2013)

Estrada	Fluxo de Tráfego				Velocidade		Largura da via
	Período de Referência Diurno		Período de Referência Noturno		Km/h		
	Veículos/hora	% pesados	Veículos/hora	% pesados	Ligeiros	Pesados	m
EM 360_T2	281	5	63	4	50	50	6
EM 357_T2	188	7	37	4	70	50	6
EM 356_T1	267	19	76	5	50	50	6
EM 356_T2	157	10	39	6	50	50	6
EM 349	117	5	18	4	50	50	6
EM 113-1	90	8	17	4	50	50	4
EM 350	92	10	20	7	50	50	4
Alvega	281	5	63	0	50	40	6

Quadro 3.6- Resumo do volume de tráfego diário

Estrada	Volume de tráfego diário	
	Nº veículos/dia	Nº pesados/dia
360_T2	4782	233
357_T2	3153	211
356_T1	4689	795
356_T2	2706	257
349	1917	94
113-1	1503	114
350	1560	151
Alvega	4782	211

Tem-se agora uma base de dados com toda a informação documental analisada e organizada da forma descrita. No entanto os dados do estado dos pavimentos não se encontram atualizados, visto que o levantamento foi realizado em 2006. Assim neste sentido planeou-se e realizou-se o levantamento da conservação do pavimento deste ano, 2015. Para o planeamento deste novo levantamento recorreu-se à informação disponível numa base de dados em postgresSQL e acedida através do software SIG QGIS para garantir a correta localização de cada via.

Todo este trabalho de campo foi apoiado por um engenheiro do município de Ourém de modo a minimizar os erros de identificação das vias. Este levantamento foi realizado considerando que o município de Ourém disponibiliza recursos humanos, temporais e orçamentais semelhantes aos que foram utilizados no levantamento de 2006. Deste modo torna-se mais provável haver continuidade, por parte do município, em atualizar o levantamento do estado dos pavimentos ao

longo dos próximos anos. Resumindo, este levantamento consiste em percorrer as mesmas 24 estradas municipais e identificar em cada 100 metros se existem degradações. Como se trata apenas de vias com pavimentos flexíveis consideram-se três grupos de degradações: fendilhamento, desagregação da camada de desgaste e abatimento. No Quadro 2.1 (página 8), o fendilhamento é uma das famílias de degradações considerada para pavimentos flexíveis. Deste modo, admite-se que quando se refere a fendilhamento está-se a englobar todo o tipo de fendas e pele de crocodilo. Da mesma forma, a desagregação da camada de desgaste abrangem a cabeça de gato, peladas, ninhos e desagregação superficial. Em relação ao abatimento trata-se apenas de uma depressão existente no pavimento. Estas degradações podem ser descritas na ficha de levantamento (Anexo F) e algumas destas podem ser observadas na ficha de degradações (Anexo G) que dispõe de fotografias, o respetivo troço e o quilómetro correspondente. Do mesmo modo que se organizou os dados do levantamento realizado em 2006, faz-se o mesmo para este novo levantamento, isto é, calcula-se a percentagem de cada troço que apresenta cada tipo de degradação e integra-se essa informação na base de dados existente.

Por fim, recorreu-se à experiência de alguns dos seus funcionários proveniente de muitos anos de trabalho no município de Ourém para descrever outras características das vias analisadas e assim completar a base de dados. Recorrendo a um funcionário do departamento das Obras Municipais que acompanhou várias obras de reabilitação em vias municipais, foi possível classificar o tipo de pavimento, camadas existentes e constituição da fundação de cada via (Anexo H). Segundo esta classificação verificou-se que todos os pavimentos são flexíveis e com uma fundação constituída pelo terreno original e uma camada adicional de tout venant (ABGE-agregado britado de granulometria extensa) com cerca de 15 cm. Em relação às camadas betuminosas dos pavimentos diferem entre três tipos, sendo a composição predominante constituída por uma camada de semipenetração com cerca de 20 cm, uma camada de binder (regularização) de 6cm e uma camada de desgaste com 4cm. Por fim para classificar a qualidade de construção (Anexo I) verificada em cada via, avalia-se segundo os níveis de boa, média ou má, tendo em conta se existiram preferencialmente aterros ou escavações durante a construção. Por exemplo uma via que durante a sua construção recorreu a vários aterros tem maior probabilidade de o terreno não ficar bem compactado do que uma via que seja construída utilizando escavação.

3.2.3 Cidade de Fremont

A cidade de Fremont localiza-se no estado da Califórnia, no Condado de Alameda, tem cerca de 200.000 habitantes (City of Fremont@ 2015). O clima de Fremont é quente a temperado em que a temperatura média é de 15,1°C e a pluviosidade média anual é de 362mm. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (Kottke et al. 2006) a classificação do clima é Csb. O mês mais quente do ano, agosto, tem uma temperatura média de 20,0°C e durante o ano a temperatura média mais baixa verifica-se no mês de janeiro e é de 9,3°C (Figura 3.4). O mês mais seco é julho com uma precipitação de 1mm e o mês com maior precipitação é janeiro com 74mm (Figura 3.5). Observando o Quadro 3.7 verifica-se que a diferença de precipitação entre o mês mais seco e o mês mais chuvoso é de 73 mm e que durante o ano as temperaturas médias variam 10.7 °C (Climate-Data.org 2015).

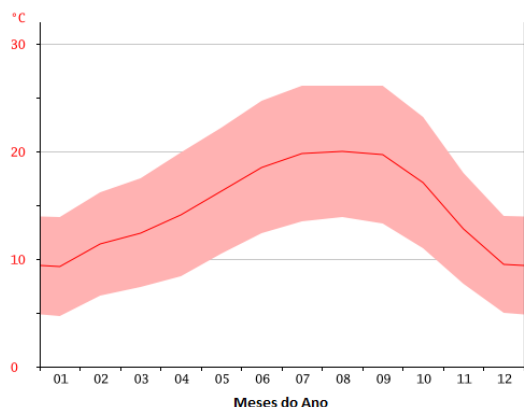


Figura 3.4- Variação da temperatura média mensal do ar em Fremont (Climate-Data.org 2015)

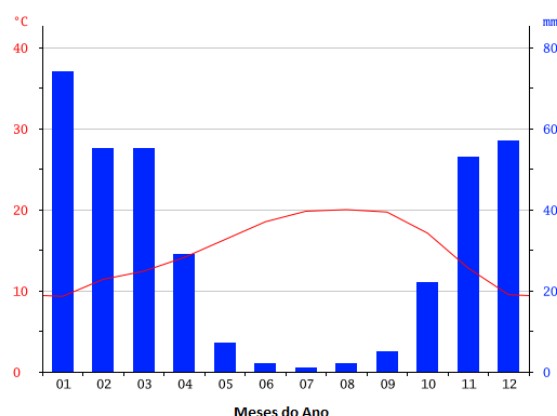


Figura 3.5- Representação da temperatura média mensal do ar e da precipitação média mensal para Fremont (Climate-Data.org 2015)

Em Fremont a temperatura média é de 15,1°C e a pluviosidade média anual é de 362mm e em Ourém a temperatura média é de 15,8°C e a pluviosidade média anual é de 824mm. Na realidade pode dizer-se que em termos de temperatura se tem coisas semelhantes mas o mesmo não se passa em relação à pluviosidade. De facto Ourém tendo uma pluviosidade anual mais de 2 vezes superior, é uma região mais gravosa em termos de pavimentos de baixo tráfego, como é o caso da rede municipal, onde o comportamento é muitas vezes comandado pelas camadas granulares do pavimento as quais são mais afetadas por humidade elevada e por variações significativas desta. De qualquer modo considera-se que a tendência para a evolução do comportamento dos pavimentos verificada em Fremont pode ser adaptada a Ourém.

Quadro 3.7- Valores da temperatura e da precipitação médias mensais para Fremont (Climate-Data.org 2015)

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Precipitação (mm)	74	55	55	29	7	2	1	2	5	22	53	57	
Temperatura (°C)	Média	9,3	11,4	12,4	14,1	16,3	18,5	19,8	20,0	19,7	17,1	12,8	9,5
	Mínima	4,7	6,6	7,4	8,4	10,5	12,4	13,5	13,9	13,3	11,0	7,7	5,0
	Máxima	13,9	16,2	17,5	19,9	22,2	24,7	26,1	26,1	26,1	23,2	18,0	14,0

Para caracterizar as vias de Fremont, estas são classificadas segundo três classes: arterial (A), residencial (R) e distribuidora local (C). Esta base de dados contém 2450 vias em que 366 são do tipo A, 1656 do tipo R e 428 do tipo C. Por norma a classe arterial tem um tráfego superior à classe residencial e à classe distribuidora local. Para classificar o tráfego existente avaliaram-se as contagens de tráfego realizadas em 2008 e 2010. Cada contagem de tráfego determina o TMDA, isto é, o tráfego diário médio anual que englobe o tráfego nos dois sentidos e o tráfego de ligeiros e de pesados (Ayres 1991). De modo a calcular um valor médio de tráfego para cada uma das classes, seleccionaram-se três vias de cada classe e calculou-se a sua média (Quadro 3.8). Repare que para a classe R e C não foram encontradas três vias com o valor do TMDA, no entanto considera-se os

valores médios para comparar com as vias de Ourém. Em Ourém o TMDA máximo é de 4.200 veículos por dia, que corresponde ao nível 3 (Anexo E). Verifica-se que a classe de Fremont com menos tráfego, a classe C, é a que mais se aproxima com 3.700 veículos por dia. Apesar da diferença de tráfego considera-se que todas as vias de Ourém seguem a tendência da evolução do comportamento dos pavimentos da classe C de Fremont. Tem-se conhecimento que no caso dos níveis 1 e 2 de Ourém a velocidade de degradação dos pavimentos é inferior à que se considera, visto que têm menos de metade do tráfego. Resumindo, a evolução do comportamento dos pavimentos é determinada pela classe C que se aplica melhor às vias com mais tráfego do que a vias com pouco tráfego.

Quadro 3.8- Média do TMDA de 2010 para cada tipo de via

Classe	TMDA			Média
	Via1	Via2	Via3	
A	12.534	13.617	8.070	11.407
R	9.294	-	-	9.294
C	4.196	3,204		3.700

Em relação ao tipo de pavimento presente nas vias de Fremont sabe-se que todas as vias de classe C são compostas por pavimentos flexíveis. No entanto não existe uma base de dados com a composição das camadas de cada pavimento. No Anexo J e no Anexo K apresentam-se os diagramas que eram utilizados no dimensionamento dos pavimentos de Fremont antes de 2006. Deste modo é possível ter uma ideia de como são compostos os pavimentos de Fremont para comparar com um pavimento típico de uma via de Ourém. Toda esta informação acerca do tipo de pavimento foi cedida pelo departamento de Engenharia da cidade de Fremont. Por exemplo considerando uma via de Fremont com 2 vias e com 75 a 150 unidades habitacionais e 900 veículos comerciais (pesados mais ligeiros de mercadorias) pelo Anexo J conclui-se o índice de tráfego (Ti) é de 6,5. Como o TMD médio de 3700 está seguramente entre $Ti=6,5$ e um $Ti=7$, vai ser verificado o dimensionamento para as duas situações.

Observando para $Ti=6,5$ o Anexo K e admitindo que o índice do solo de fundação, R-value, é de 15 (aproximadamente $CBR=8\%$, (Pavementinteractive@ 2015)) tem-se que a camada total do pavimento é de cerca de 40 cm (15,5") em que a camada de base de agregado britado tipo ABGE tem cerca de 30 cm (11,5") e a camada de betão betuminoso tem cerca de 10 cm (4"). Para $Ti=7,0$, nas mesmas condições de partida, tem-se que a camada total do pavimento é de cerca de 45 cm (17,5") em que a camada de base de agregado britado tipo ABGE tem cerca de 35 cm (13,5") e a camada de betão betuminoso tem cerca de 10 cm (4").

Analisando a composição de um pavimento típico de uma via de Ourém, constituído por um tout-venant (ABGE) com cerca de 15 cm, uma camada de semipenetração (normalmente com cerca de 20cm), uma camada regularização de 6cm e uma camada de desgaste de 4 cm formadas por misturas betuminosas, constituindo um pavimento com o total com cerca de 45 cm, pode dizer-se

que as estradas de Fremont, para uma classe C de tráfego, e de Ourém têm estruturas semelhantes, embora estruturalmente possam diferir um pouco já que o ABGE usado em Fremont não é exatamente a mesma coisa que a semipenetração de Ourém e neste caso há uma variabilidade na espessura da camada de regularização betuminosa que não se consegue determinar com segurança. Finalmente vai admitir-se, apesar das aproximações estruturais e as assinaladas referentes à pluviosidade e ao tráfego, que a evolução da degradação em Fremont pode ser usada em Ourém como indicador.

3.3 Organização da Base de dados

A base de dados produzida organiza toda a informação relacionada com os troços considerados, isto é, os troços que foram analisados no levantamento realizado. Os principais elementos da base de dados são:

- ID troço, que é um identificador numérico e único para cada troço;
- Designação da via, isto é, classificação (exemplo EM 360) ou nome das vias;
- Tipo de pavimento, descrição das camadas existentes;
- Ano de Reabilitação definido pelo ano em que o troço já foi reabilitado;
- Comprimento do troço;
- Comprimento total da via a que o troço pertence;
- Qualidade de construção designada por boa, média ou má;
- Largura total da via;
- Nível de TMDA que caracteriza a intensidade do tráfego de ligeiros e pesados;
- Nível de tráfego de pesados que caracteriza a intensidade de pesados;
- Média de veículos diários;
- Média de Pesados diários;
- Estado do troço em 2006, designado por bom, razoável, mau e muito mau
- $Abatimento_{2006}$ e $Abatimento_{2015}$, consiste na percentagem do troço que apresenta abatimentos, respetivamente, em 2006 e 2015;
- $Desagregação_{2006}$ e $Desagregação_{2015}$, consiste na percentagem do troço que apresenta desagregações, respetivamente, em 2006 e 2015;
- $Fendilhamento_{2006}$ e $Fendilhamento_{2015}$, consiste na percentagem do troço que apresenta fendilhamento, respetivamente, em 2006 e 2015.

3.4 Cálculo do parâmetro da condição global dos pavimentos

Como foi referido no subcapítulo 2.3.3 (Avaliação da qualidade) é necessário avaliar a qualidade global do estado do pavimento das vias de Ourém utilizando um parâmetro único. As opções mais usuais são o PCI ou o PSI. O PSI, como foi referido anteriormente, é um parâmetro global que tem em conta índices que são necessários equipamentos específicos para os obter, tais como, o valor da irregularidade longitudinal, a profundidade média das rodeiras, área de fendilhamento e pele de crocodilo entre outros. Como a informação disponível sobre os pavimentos das vias de Ourém apenas é obtida através de inspeção visual o parâmetro mais adequado é o PCI. Este parâmetro avalia a condição da superfície do pavimento. Normalmente para o cálculo do PCI considerava-se a quantidade, densidade e o tipo de degradações existentes na superfície do pavimento. No entanto como os levantamentos foram realizados apenas identificando se existiam ou não degradações, não classificando a sua gravidade nem a sua dimensão, o PCI não poderá ser calculado através da especificação ASTM D6433 (Pierce et al. 2013), como é habitual. Assim usa-se uma metodologia que consiste em determinar uma função que relacione a percentagem de cada degradação de um troço com o valor do PCI desse mesmo troço (Figura 3.6).

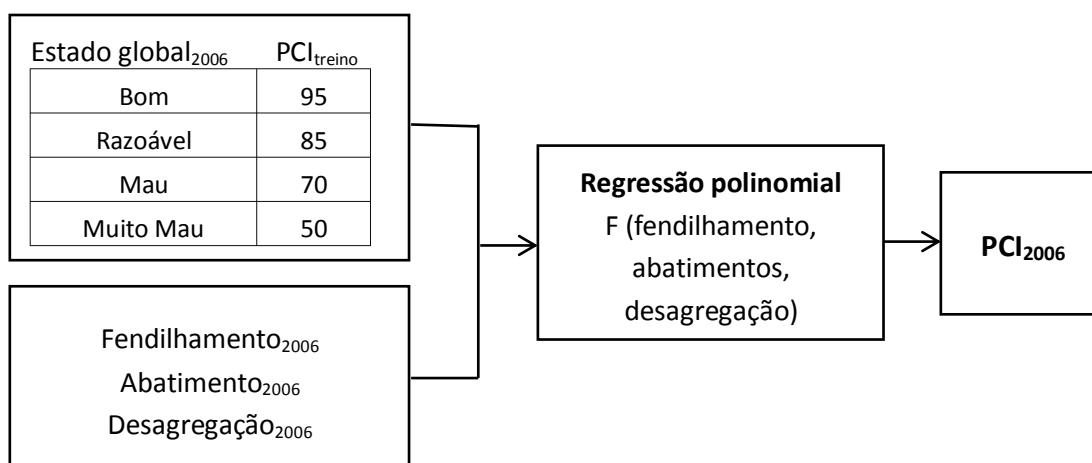


Figura 3.6- Método para calcular o PCI dos pavimentos do município de Ourém

O primeiro passo consiste em analisar o estado global de cada troço e fazer correspondência com o PCI_{treino} respetivo (Anexo L). Por exemplo se um troço tem o estado global classificado como razoável, então o seu PCI_{treino} será 85. De seguida utiliza-se o RapidMiner Studio (RapidMiner 2014) para aplicar uma regressão polinomial de modo a relacionar e calcular o peso de cada degradação para que se obtenha o valor do PCI_{treino}. Este software permite importar dados através de um ficheiro xls, sendo necessário garantir que todos os parâmetros são definidos como valor numérico e que o PCI₂₀₀₆ é considerado como label, isto é, a imagem da função. A regressão polinomial aplica-se ao conjunto de todos os troços sem distinguir os diferentes tipos de estado global do pavimento e obtendo uma função. Decide-se não diferenciar os estados porque se considera que o levantamento de 2006 é o levantamento mais correto e fiável e de modo a não introduzir mais uma variável (estado global) no levantamento de 2015. Assim obtém-se uma função em que atribui pesos ao fendilhamento, abatimentos, desagregações de modo a descobrir o PCI₂₀₀₆ de cada troço. A função obtida é dada pela equação 3.6.

$$PCI_{2006} = 89,19 - 0,262 * Abatimentos_{2006} - 0,409 * Desagregações_{2006} - 0,222 * Fendilhamento_{2006} \quad (3.6)$$

em que:

Abatimentos₂₀₀₆- Percentagem do troço que apresenta abatimentos no ano de 2006;

Desagregações₂₀₀₆- Percentagem do troço que apresenta desagregações no ano de 2006;

Fendilhamento₂₀₀₆- Percentagem do troço que apresenta fendilhamento no ano de 2006.

Uma das características do PCI é que o seu valor varia de 0 a 100, o que significa à superfície do pavimento estar totalmente danificada ou estar em perfeitas condições, respetivamente. Assim verifica-se que a equação obtida não resulta no valor 100 quando os abatimentos, desagregações e fendilhamento são nulos, por isso é necessário fazer uma correção, obtendo a equação 3.7.

$$PCI = 100 - 0,262 * Abatimentos - 0,409 * Desagregações - 0,222 * Fendilhamento \quad (3.7)$$

em que:

Abatimentos- Percentagem do troço que apresenta abatimentos no ano de levantamento;

Desagregação- Percentagem do troço que apresenta desagregações no ano de levantamento;

Fendilhamento- Percentagem do troço que apresenta fendilhamento no ano de levantamento.

Repare que esta equação não avalia a evolução do PCI, pois não tem em conta o tráfego nem o número de anos ou qualquer outro parâmetro que represente uma taxa de degradação. Resumidamente, esta equação permite aos utilizadores desta Ferramenta de Apoio à Decisão após realizarem um levantamento calcularem o respetivo PCI para que seja possível posteriormente prever a evolução do comportamento dos pavimentos representada apenas por este parâmetro. Assim aplica-se esta equação aos dados levantados em 2015. No Anexo M apresenta-se parte da base de dados com os resultados.

3.5 Previsão do comportamento dos pavimentos

Neste capítulo pretende-se prever o comportamento futuro dos pavimentos das vias de Ourém. Como foi referido anteriormente considera-se que a tendência para a evolução da qualidade dos pavimentos verificada em Fremont pode ser adaptada a Ourém. Assim o principal objetivo será selecionar um modelo que avalie a evolução da degradação existente nas vias de Fremont. Em primeiro lugar começa-se por analisar o histórico referente à evolução do PCI de cada via de Fremont. Este histórico avalia o PCI nos seguintes anos: 2000, 2001, 2002, 2004, 2006, 2009, 2012 e 2014 (Anexo N). É possível verificar que não existem levantamentos realizados em anos sucessivos, no melhor dos casos, os levantamentos são realizados de 2 em 2 anos, como por exemplo, as vias que no geral são classificadas em 2009 também são classificadas em 2012 e 2014. Em segundo lugar caracterizam-se as variáveis que o modelo terá que avaliar. Deste modo organiza-se uma nova base de dados referente à evolução do PCI ao longo dos anos definindo dois parâmetros: o PCI do ano inicial e a degradação anual. Em que a degradação anual é a variação do PCI de uma via por ano, isto traduz, quanto decresce o PCI num ano. Este parâmetro é expressado pela equação 3.8.

$$\Delta PCI_{anual} = \frac{PCI_i - PCI_j}{i - j} \quad (3.8)$$

em que:

PCI_i - Valor do PCI referente ao ano i;

PCI_j - valor do PCI referente ao ano j.

Tratando-se de um sistema pericial e querendo um modelo que consiga descrever a evolução da degradação anual em função do estado inicial verifica-se que os melhores modelos candidatos são: redes neuronais, processos de *Markov* e a análise de *clusters*. Ao aplicar as redes neuronais ao conjunto de dados verifica-se muita dispersão nos resultados que pode ser justificada pela reduzida quantidade de dados e por isso não será o método selecionado. Em relação aos processos de Markov seria avaliada a probabilidade de transição de a degradação anual ser -2, por exemplo, sabendo que o estado anterior se tinha um PCI inicial, por exemplo, de 83. No entanto este não será o modelo a aplicar pois a quantidade de dados disponíveis sobre as vias de Fremont da classe C é reduzida.

Assim o modelo utilizado será a análise de *clusters*, pois para além de não precisar de um extenso conjunto de dados permite classificar objetos similares em diferentes grupos (*clusters*), neste caso concreto, permite agrupar as vias em que a degradação anual e estado inicial sejam semelhantes. Assim um *cluster* será formado por um conjunto de vias semelhantes entre si dentro do mesmo cluster e dissimilares em relação a vias noutros *clusters*, de modo a que os grupos obtidos sejam os mais homogêneos e separados possíveis (Castro 2003). A análise de Clusters foi aplicada de acordo com o método *Two-Step Cluster* (Anexo O).

3.6 Custos de conservação

A Ferramenta de Apoio à Decisão é desenvolvida na ótica da entidade pública responsável pela conservação das vias. Neste sentido o modelo de custos não considera os custos para o utilizador, resumindo, irá considerar apenas o custo previsto para aplicar as medidas de conservação aos troços existentes, ou seja apenas o custo para a Câmara Municipal. O cálculo do custo de reabilitação de cada troço considera o custo unitário correspondente à reabilitação necessária e o respetivo comprimento e largura do troço. Neste sentido deve-se ter em atenção que pavimentos em que se aplicam medidas preventivas, apenas será reabilitado parte do troço, isto é a parte do troço que apresenta alguma degradação.

3.7 Avaliação de estratégias

Este capítulo tem como objetivo selecionar as vias com reabilitação prioritária. Optou-se pelo método mais utilizado (Zimmerman (1995)), isto é, o ranking baseado no estado do pavimento em que o primeiro passo é determinar a lista organizada das vias prioritárias segundo o PCI. O segundo passo consiste em selecionar quais as vias que devem ser realmente reabilitadas pois existem

limitações, como por exemplo, o orçamento. Para determinar a lista de vias que realmente devem ser reabilitadas consideram-se várias hipóteses:

- a) Troços mais degradados;
- b) Aumento do custo de reabilitação;
- c) Menor custo de reabilitação;
- d) Qualidade inferior a um valor limite.

Na avaliação A pretende-se seleccionar os troços mais degradados até alcançar o orçamento disponível. Na avaliação B é tido em consideração que quando um pavimento está muito degradado o seu custo de reabilitação é superior do que quando este apresenta boas condições, neste sentido, seleccionam-se os troços em que a degradação que apresentam ao longo de três anos provoca um aumento do custo de reabilitação até alcançar o orçamento disponível. Na avaliação C são seleccionados os troços com menor custo de reabilitação de modo a reabilitar o maior número possível de troços com o orçamento disponível. Na avaliação D seleccionam-se os troços que apresentam uma qualidade inferior ao valor limite, garantindo que no final dos três anos de análise todos os troços apresentam uma qualidade superior a este valor limite.

3.8 Interface da Ferramenta de Apoio à Decisão

Para permitir uma operacionalização mais fácil e expedita da Ferramenta de Apoio à Decisão os vários elementos foram incorporados numa folha de cálculo em Microsoft Excel. A folha de cálculo desenvolvida com recurso a macros permite introduzir novos levantamentos, calcular o PCI, prever o comportamento dos pavimentos e analisar os resultados das diferentes avaliações.

A página inicial (Figura 3.7) permite seleccionar os menus existentes, no entanto estes devem ser executados segundo a ordem indicada. O separador que corresponde à base de dados inicial (Figura 3.8) contém toda a informação existente sobre os troços a analisar. A Figura 3.9 representa o separador que permite calcular o PCI do ano de 2015 de cada troço tendo em conta a percentagem do troço que apresenta abatimentos, desagregações e fendilhamento. Caso se tenha realizado um novo levantamento, deve-se seleccionar o botão “Novo levantamento” que irá abrir um novo separador (Figura 3.10) e inserir a percentagem de cada tipo de degradações do novo ano. Se por acaso o novo levantamento avaliar troços nunca antes considerados, pode-se adicionar os troços na continuação da lista devendo garantir-se que o comprimento do troço e a qualidade de construção são corretamente preenchidas. Para calcular o PCI deste novo levantamento basta seleccionar o botão “Calcular PCI”. Independentemente de se ter introduzido um novo levantamento, basta seleccionar “Seguinte” para ir para o próximo passo. Caso não se tenha introduzido nenhum levantamento, ao clicar no botão seguinte irá ter ao separador da Figura 3.11, que permite prever o comportamento do pavimento ao longo dos próximos 3 anos.

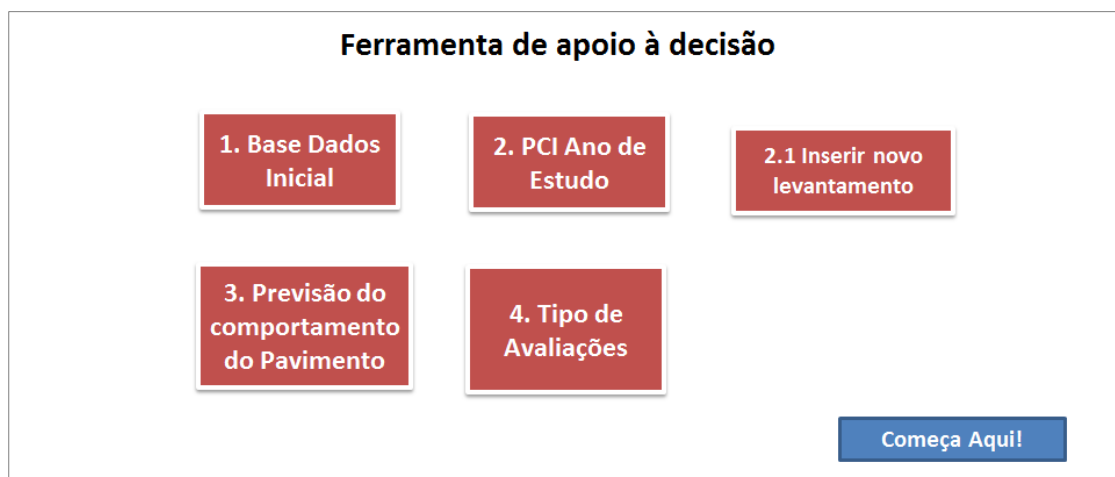


Figura 3.7- Página inicial da Ferramenta de Apoio à Decisão de Ourém

Retroceder		Base de dados Inicial												
IDtroco	Designação da via	Qualidade de construção	Comp troço	Qualidade de construção	Largura total via	Largura de uma via	Nível de TMDA	Nível de tráfego de pesados	Média de veículos/ dia	Média Pesados/dia	estado 2006	PCI2006 considerado	PCI2006 calculado	
1	EM 357	Média	3500.00	Média	6.20	3.10	3	3	4300	220	Razoável	85.00	94	
2	EM 357	Média	3900.00	Média	6.20	3.10	3	3	4300	220	Razoável	85.00	99	
3	EM 357	Média	2900.00	Média	6.20	3.10	3	3	4300	220	Muito Mau	50.00	90	
4	EM 357	Boa	1000.00	Média	6.20	3.10	3	3	4300	220	Razoável	85.00	90	
8	EM 360	Boa	3500.00	Boa	6.10	3.05	3	3	4300	220	Muito Mau	50.00	94	
9	EM 360	Boa	3100.00	Boa	6.10	3.05	3	3	4300	220	Muito Mau	50.00	89	
27	EM 560	Média	4200.00	Média	5.70	2.85	3	2	4300	160	Razoável	85.00	95	
28	EM 560	Média	3500.00	Média	5.75	2.88	3	2	4300	160	Razoável	85.00	97	
29	EM 560	Média	3500.00	Média	5.70	2.85	3	2	4300	160	Razoável	85.00	94	
30	EM 560	Média	3800.00	Média	5.70	2.85	3	2	4300	160	Razoável	85.00	94	
33	EM 113	Média	3600.00	Média	7.00	3.50	3	2	4300	160	Mau	70.00	86	
49	EM 559-1	Média	3500.00	Média	5.50	2.75	3	1	4300	115	Mau	70.00	85	
58	Alvega	Boa	3500.00	Boa	6.20	3.10	3	1	4300	115	Razoável	85.00	95	
59	Alvega	Boa	2300.00	Boa	6.20	3.10	3	1	4300	115	Razoável	85.00	98	
5	EM 502	Média	3500.00	Média	6.20	3.10	2	1	2800	115	Razoável	85.00	95	

Figura 3.8- Separador com a base de dados existente atualmente

Retroceder		Cálculo do PCI do ano de 2015												
1 Se quiser introduzir um novo levantamento clique em "Inserir Levantamento"		Inserir levantamento												
2 Caso contrário clique em seguinte		Seguinte												
id_troco	Nome via	Comptroco	Compttotal	Largura total da via	Nível de TMDA	Nível de tráfego de pesados	Média Pesados/dia	Qualidade de construção	Abatimentos	Desagregações	Fendilimentos	PCI_2015		
1	EM 357	3500	11300	6.20	3	3	220	Média	29	3	6	90		
2	EM 357	3900	11300	6.20	3	3	220	Média	15	3	5	94		
3	EM 357	2900	11300	6.20	3	3	220	Média	17	0	0	95		
4	EM 357	1000	11300	6.20	3	3	220	Média	60	30	40	63		
8	EM 360	3500	6600	6.10	3	3	220	Boa	86	57	60	41		
9	EM 360	3100	6600	6.10	3	3	220	Boa	90	48	55	44		
27	EM 560	4200	11200	5.70	3	2	160	Média	62	21	64	61		
28	EM 560	3500	11200	5.75	3	2	160	Média	20	0	14	92		
29	EM 560	3500	11200	5.70	3	2	160	Média	43	20	3	80		

Figura 3.9- Separador com o resultado do cálculo do PCI₂₀₁₅

Retroceder

Inserir novo levantamento

Ano de Estudo	
Nº Troços	59

1. Insira o ano de estudo
Insira os valores do levantamento realizado (Abatimentos, desagregações, fendilhamentos) nos troços existentes, isto é, percentagem do troço afectada por cada patologia e a largura da via. Se necessário insira novos troços, deve definir também a qualidade de construção destes novos troço.
2. Para calcular o PCI tendo em conta o novo levantamento clique em "Calcular PCI" Calcular PCI
3. Para prever a evolução do comportamento dos pavimentos clique em seguinte Seguinte

id troço	Nome via	Tipo de Pavimento	Qualidade de construção	Início	Final	Comp. troço	Largura total	Nível de TMDA	Nível de tráfego de pesados	Média Pesados /dia	Abatimentos	Desagregações	Fendilhamentos
1	EM 357	Semi-Penetração + Binder (6cm)+Desgaste(4cm)	Média	0	3500	3500	6.20	3	3	220			
2	EM 357	Semi-Penetração + Binder (6cm)+Desgaste(4cm)	Média	3500	7400	3900	6.20	3	3	220			
3	EM 357	Semi-Penetração + Binder (6cm)+Desgaste(4cm)	Média	7400	10300	2900	6.20	3	3	220			
4	EM 357	Semi-Penetração + Binder (6cm)+Desgaste(4cm)	Média	10300	11300	1000	6.20	3	3	220			
8	EM 360	Semi-Penetração + Binder (6cm)+Desgaste(4cm)	Boa	0	3500	3500	6.10	3	3	220			
9	EM 360	Semi-Penetração + Binder (6cm)+Desgaste(4cm)	Boa	3500	6600	3100	6.10	3	3	220			
27	EM 560	Semi-Penetração + Binder (6cm)+Desgaste(4cm)	Média	0	4200	4200	5.70	3	2	160			
28	EM 560	Semi-Penetração + Binder (6cm)+Desgaste(4cm)	Média	4200	7700	3500	5.75	3	2	160			

Figura 3.10- Separador para inserir novo levantamento e calcular o respetivo PCI

Retroceder

Previsão da condição do pavimento no periodo de análise

Nº Troços	59
-----------	----

1. Clique em Prever PCI Prever PCI
2. Clique em Seguinte Seguinte

id_troco	Qualidade de construção	Início	Final	Comptroco	Nível de TMDA	Nível de tráfego de pesados	PCI			
							Actual	Previsto		
							2015	2016	2017	2018
1	Média	0	3500	3500	3	3	90			
2	Média	3500	7400	3900	3	3	94			
3	Média	7400	10300	2900	3	3	95			
4	Média	10300	11300	1000	3	3	63			
8	Boa	0	3500	3500	3	3	41			
9	Boa	3500	6600	3100	3	3	44			

Figura 3.11- Separador que permite prever o comportamento dos pavimentos ao longo dos anos

De seguida a ferramenta disponibiliza um menu referente à avaliação das estratégias que é composta por vários tipos de avaliação (Figura 3.12). Antes de aplicar cada avaliação é obrigatório seguir os passos referidos anteriormente, que são: calcular o PCI de 2015 ou do novo levantamento inserido e prever a evolução do PCI para os 3 anos seguintes. Na Figura 3.13 está representado o separador referente à avaliação A. O primeiro passo da avaliação A considera a possibilidade de se ter inserido anteriormente um novo levantamento. Para introduzir automaticamente os dados que já foram introduzidos num separador anterior, basta seleccionar o botão “Atualizar”. Caso não tenha inserido um novo levantamento e tenha seleccionado o botão anterior, pode cancelar esta operação seleccionando “Anular Atualizar”. O segundo passo consiste em calcular o custo de reabilitação de cada troço para o PCI₂₀₁₅ seleccionando “Calcular”. De seguida selecciona-se o botão “Ordenar” para definir a ordem dos troços de acordo com o ano em que o pavimento estará mais degradado, isto é, considerando o PCI₂₀₁₈. Por fim, definindo o orçamento disponível para os três anos e seleccionando “Reabilitar”, fica definido quais os troços que podem ser reabilitados tendo em conta

o orçamento. Nesta avaliação existe um botão “Limpar” que permite apagar todos os dados calculados e começar de novo a avaliação. A avaliação B (Figura 3.14) assenta no facto de um pavimento muito degradado tem um custo de reabilitação superior do que quando este apresenta boas condições. Neste sentido, foram seleccionados os troços em que a degradação ao longo de três anos, provoca um aumento do custo de reabilitação. Os troços serão seleccionados até se alcançar o orçamento disponível. Para inserir o novo levantamento inserido anteriormente, caso exista, seguem-se os mesmos passos referidos na avaliação anterior. Para automatizar e associar a cada PCI, de cada ano, o respetivo tipo de reabilitação necessária selecciona-se o botão “Associar”. De seguida o botão “Priorizar” permite identificar todos os troços em que durante os três anos de análise o tipo de reabilitação necessária varia de 1 para 2 ou de 2 para 3, identificando o ano em que isto ocorre. Para obter este resultado é gerada uma nova tabela que indica o ID do troço, o custo de reabilitação, o ano em que se deve reabilitar, isto é, antes de se verificar o incremento do custo de reabilitação, e a poupança garantida, descrita pela diferença entre reabilitar no ano definido ou no ano seguinte. Visto que o orçamento é sempre limitado, nesta avaliação também existe a opção para inserir o orçamento disponível para os três anos. Para seleccionar os troços que são possíveis de reabilitar com o orçamento disponível basta seleccionar o botão “Avaliar” que também define o orçamento total usado e a poupança obtida. Para realizar esta última análise com um orçamento diferente, selecciona-se “Novo orçamento” e introduz-se o orçamento disponível na respetiva célula e pressiona-se novamente em “Avaliar”. Para apagar todos os dados calculados e começar de novo, pressiona-se “Limpar”.

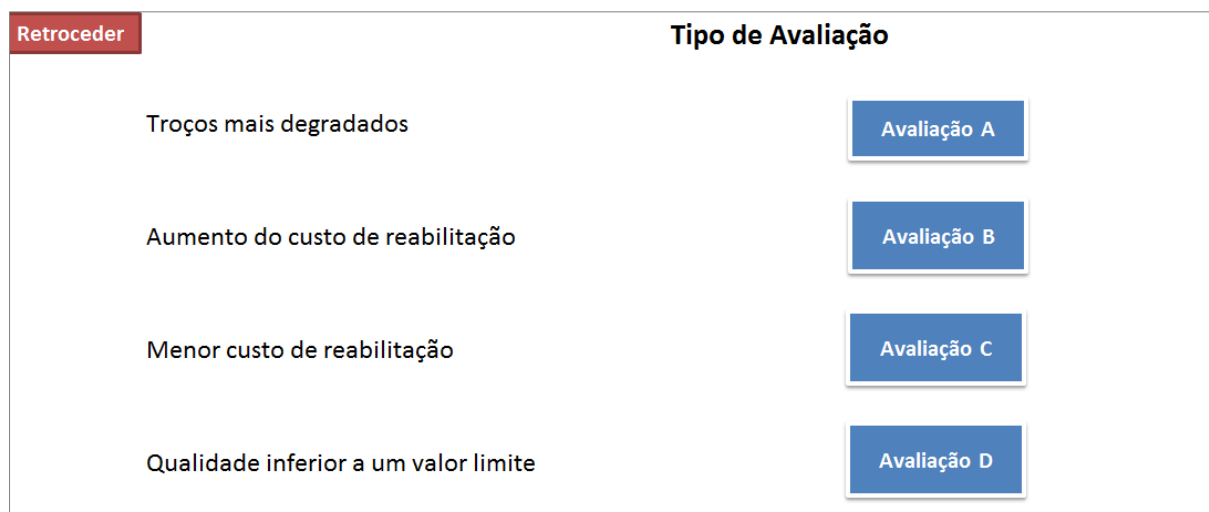


Figura 3.12- Separador correspondente aos tipos de avaliação considerados

Retroceder

Avaliação A - Troços mais degradados

0. Caso tenha inserido um novo levantamento clique em "Atualizar", caso contrário siga para o passo seguinte. Se clicar por engano, seleccione "Anular Atualizar"
1. Para determinar o custo de reabilitação de cada troço clique em "Calcular".
2. Para ordenar os troços por ordem de acordo com o PCI clique em "Ordenar"
3. Insira o valor do orçamento trimestral disponível e seleccione "Reabilitar".
Caso queira eliminar todos os dados calculados anteriormente seleccione "Limpar"

Actualizar **Anular Actualizar**

Calcular

Ordenar

Reabilitar

Limpar

Nº Troços	59
Orçamento disponível para 3 anos	(Insira o orçamento disponível)
Orçamento Necessário	

id troço	Qualidade de construção	Comp troço	Largura total	Nível de TMDA	Nível de tráfego de pesados	Média Pesados/dia	PCI			
							Actual	Previsto		
							2015	2016	2017	2018
1	Média	3500.00	6.20	3.00	3.00	220	90	88	86	83
2	Média	3900.00	6.20	3.00	3.00	220	94	92	89	87
3	Média	2900.00	6.20	3.00	3.00	220	95	93	91	89
4	Média	1000.00	6.20	3.00	3.00	220	63	58	52	47

Figura 3.13- Separador que traduz a Avaliação A

Retroceder

Avaliação B - Aumento do custo de reabilitação

0. Caso tenha inserido um novo levantamento clique em "Atualizar", caso contrário siga para o passo seguinte. Se clicar por engano, seleccione "Anular Actualizar"
1. Para associar a cada valor do PCI a respectivo tipo de Reabilitação necessário, seleccione "Associar"
2. Para determinar quais os troços que, ao longo dos 3 anos, o custo de reabilitação aumenta, seleccione em "Priorizar"
3. Insira o orçamento trimestral disponível e seleccione "Avaliar" para determinar quais os troços que garantem mais poupança podem ser reabilitados com o orçamento disponível.
Caso queira inserir um novo orçamento seleccione "Novo orçamento" e repita o passo 3.
4. Se por alguma razão quer anular os resultados obtidos clique em "Limpar"

Actualizar **Anular Actualizar**

Associar

Priorizar

Avaliar

Novo orçamento

Limpar

Nº Troços Total	59
Orçamento disponível para 3 anos	(Insira Orçamento disponível)
Orçamento Necessário	
Nº Troços a reabilitar	
Poupança	

id troço	Qualidade de construção	Inicio	Final	Comp troço	Largura total	Ligeiros	Pesados	Média Pesados/dia	PCI				Tipo de Reabilitação necessária			
									2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018
1	Média	0	3500	3500	6	3	3	210	90	88	86	83				
2	Média	3500	7400	3900	6	3	3	210	94	92	89	87				
3	Média	7400	10300	2900	6	3	3	210	95	93	91	89				
4	Média	10300	11300	1000	6	3	3	210	63	58	52	47				
8	Boa	0	3500	3500	6	3	3	234	41	37	34	31				
9	Boa	3500	6600	3100	6	3	3	234	44	41	38	34				
27	Média	0	4200	4200	6	3	2	163	61	55	50	45				
28	Média	4200	7700	3500	6	3	2	163	92	89	87	85				

Figura 3.14- Separador que traduz a avaliação B

Em relação à avaliação C (Figura 3.15), esta tem como objetivo avaliar os troços com o custo de reabilitação mais baixo, isto é, reabilitar o número máximo de troços com um orçamento definido. Os primeiros passos desta avaliação coincidem com os passos da avaliação A, isto é, atualizar o conjunto de dados caso tenha sido inserido um novo levantamento e calcular o custo de reabilitação de cada troço. De seguida, ao pressionar "Ordenar" será gerada uma tabela dinâmica organizada de modo crescente em relação ao custo de reabilitação. Por fim, introduz-se o orçamento disponível para os 3 anos e selecciona-se "Avaliar". Assim os troços a reabilitar serão identificados de acordo com o orçamento disponível, tendo em conta que primeiro serão considerados os troços com os custos de reabilitação menores. Também é referido o orçamento necessário, isto é, a soma de todos os custos de reabilitação dos troços a reabilitar, e o número de troços a reabilitar. Em relação à avaliação D (Figura 3.16) tem como objetivo seleccionar todos os troços que apresentem uma qualidade inferior a um valor limite. Os primeiros dois passos são iguais à avaliação C no entanto ao seleccionar "Ordenar" é gerada uma tabela dinâmica com todos

os troços por ordem crescente em relação ao PCI do último ano considerado. De seguida deve-se preencher adequadamente o valor do PCI limite e seleccionar “Reabilitar” e serão identificados todos os troços com o PCI inferior ao valor limite definido e identificado o orçamento necessário e o número de troços a reabilitar. Se o orçamento necessário for superior ao disponível pode seleccionar-se apenas os troços que são possíveis de reabilitar com o orçamento disponível.

Retroceder

Avaliação C - Menor custo de reabilitação

0. Caso tenha inserido um novo levantamento clique em "Actualizar", caso contrário
 1. Para determinar o custo de reabilitação de cada troço clique em "Calcular".

2. Para ordenar os troços por ordem de acordo com o custo de reabilitação clique em "Ordenar"

3. Insira o valor do orçamento trimestral disponível e seleccione "Avaliar". Caso queira eliminar todos os dados calculados anteriormente seleccione "Limpar"

Nº Troços analisados	59
Orçamento disponível para 3 anos	(Insira o orçamento disponível)
Orçamento Necessário	
Nº Troços a reabilitar	

id troço	Qualidade de construção	Comp troço	Largura total	PCI			
				Actual		Previsto	
				2015	2016	2017	2018
1	Média	3500	6	90	88	86	83
2	Média	3900	6	94	92	89	87
3	Média	2900	6	95	93	91	89
4	Média	1000	6	63	58	52	47

Figura 3.15- Separador que traduz a avaliação C

Retroceder

Avaliação D - Qualidade inferior a um valor limite

0. Caso tenha inserido um novo levantamento clique em "Actualizar", caso contrário siga para o passo seguinte. Se clicar por engano, seleccione "Anular Actualizar".

1. Para determinar o custo de reabilitação de cada troço clique em "Calcular".

2. Para ordenar os troços por ordem de acordo com o PCI clique em "Ordenar".

3. Para seleccionar os troços com PCI inferior ao valor limite escolhido (deve inserir esse valor na célula correspondente) e descobrir qual o orçamento necessário seleccione "Reabilitar".
 Caso queira eliminar todos os dados calculados seleccione "Limpar".

PCI limite	(Insira um valor entre 0 e 100)
Nº Troços	59
Orçamento Necessário	
Nº Troços a reabilitar	

id troço	Qualidade de construção	Comp troço	Largura total	PCI			
				Actual		Previsto	
				2015	2016	2017	2018
1	Média	3,500	6	90	88	86	83
2	Média	3,900	6	94	92	89	87
3	Média	2,900	6	95	93	91	89
4	Média	1,000	6	63	58	52	47

Figura 3.16- Separador que traduz a avaliação D

Em todos os separadores existe um botão que permite retroceder para voltar ao passo anterior para prevenir enganos. Apenas se deve modificar os valores das células preenchidas a vermelho, todas as outras estão pré definidas para que as macros programadas funcionem. Não se deve acrescentar colunas novas pois irá interferir com o código desenvolvido para cada macro.

4 Resultados e discussão

4.1 Considerações iniciais

Para desenvolver a Ferramenta de Apoio à Decisão de acordo com a metodologia descrita no capítulo 3, é necessário prever o comportamento dos pavimentos de Ourém que é sustentada pela evolução dos pavimentos da classe C de Fremont, utilizando a análise de *clusters*, que está presente no subcapítulo 4.2. Também é necessário determinar como se define o custo de conservação de cada trecho (subcapítulo 4.3). Obtendo estes resultados é possível completar as macros descritas anteriormente e assim recorrendo aos menus descritos obter e analisar os resultados das diferentes avaliações consideradas, que serão apresentados no subcapítulo 4.4. Por último, no subcapítulo 4.5 discutem-se os resultados comparando com as decisões tomadas pelo Município de Ourém.

4.2 Previsão do comportamento dos pavimentos

A análise de *clusters* usada para a previsão do PCI nos anos seguintes ao de partida, foi realizada recorrendo ao software IBM SPSS *Statistic* (IBM@ 2015) tendo como objetivo realizar um procedimento de agrupamento que forme rapidamente aglomerados com base em variáveis contínuas ou categóricas, a melhor opção foi aplicar o método de *Two-Step Cluster*.

Neste método é necessário definir o critério a utilizar, que neste caso é o critério de distância do Log-verossimilhança. As variáveis a utilizar são o estado inicial (PCI inicial) e a degradação anual, que são variáveis contínuas. Como foi referido no Anexo O, é possível definir o número de *clusters*, neste caso optou-se por três *clusters* pois está de acordo com a escala comum do PCI (Figura 2.2 na página 10). De modo a obter o melhor resultado possível, optou-se por selecionar o *Outlier Treatment* que consiste em calcular um *cluster outlier* que contém todos os casos que não sejam semelhantes com os restantes. Para aplicar a análise de *clusters* apenas se considera o conjunto de dados relacionado com a classe C dos pavimentos de Fremont. Esta base de dados contém 577 pares de estado inicial/degradação anual. Os resultados desta análise podem ser observados no Quadro 4.1, onde é possível verificar a constituição de cada um dos três *clusters* resultantes e do *cluster outlier* formado apenas por um par estado inicial/degradação anual de 86/-26.

Quadro 4.1- Constituição dos *clusters*

Distribuição de <i>Cluster</i>				
		N	% de Combinados	% do Total
<i>Cluster</i>	1	261	45,2%	45,2%
	2	223	38,6%	38,6%
	3	92	15,9%	15,9%
	<i>outlier</i> (-1)	1	0,2%	0,2%
	Combinado	577	100%	100%
Total		577		100%

De modo a avaliar a qualidade da análise de *clusters* é utilizado a medida de silhueta de coesão e separação, que é um parâmetro que avalia se os *clusters* formados são adequados. Esta medida varia de -1 a +1, sendo o valor preferível de +1. Para calcular esta medida determina-se para cada elemento de um *cluster*, a distância média a todos os outros elementos do mesmo *cluster* e a distância média a todos os elementos de cada um dos outros *clusters*. Para cada elemento a medida de silhueta é a diferença entre a menor distância média entre *clusters* e a distância média dentro do *cluster*, dividindo pela maior das duas distâncias. Um bom resultado requer que as distâncias dentro do *cluster* sejam pequenas e as distâncias entre *clusters* sejam grandes, de modo a que a medida de silhueta seja próxima de 1. Deve-se evitar considerar resultados com valores da medida de silhueta de coesão e separação negativos, pois significa que a distância média dentro do *cluster* é maior do que a distância média em relação aos outros *clusters*. A medida de silhueta de um *cluster* é a média das medidas de silhueta dos elementos dentro do *cluster*. Segundo os resultados obtidos (Figura 4.1) a medida de silhueta de coesão e separação média é de 0,5771 o que pertence ao intervalo de 0,5 a 1, logo verifica-se que a qualidade do *cluster* é elevada.

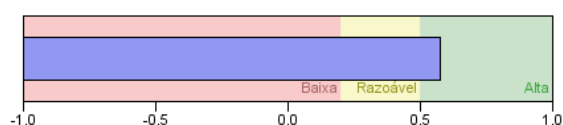


Figura 4.1- Resultado da medição de silhueta de coesão e separação

As características das distribuições que classificam os *clusters* estão representadas no Quadro 4.2. O *cluster* 1 obteve como estado inicial médio de 83 e degradação anual média de -2,2, o *cluster* 2 tem 40 e -3,4, respectivamente, por fim o *cluster* 3 tem 75 e -8,0. Assim irá definir se três intervalos de variação do PCI inicial, o primeiro corresponde a 100 a 80, o segundo de 80 a 50 e o terceiro de 50 a 0. No caso do valor inicial do PCI estar compreendido entre 80 e 50 verifica-se que a degradação anual média apresenta uma grande discrepância em relação aos outros valores. Isto significa que fatores como a qualidade de construção, métodos de construção e materiais utilizados influenciam a degradação dos pavimentos. Deste modo considera-se para este *cluster* que a distribuição da degradação anual (Figura 4.2) corresponde ao percentil de 95% para o caso de boa qualidade de construção; o percentil de 85% para o caso de média qualidade de construção e o percentil de 75% no caso de má qualidade de construção. Considerando a avaliação da qualidade de construção presente no Anexo I e os resultados obtidos para cada percentil, associam-se os intervalos de PCI com a degradação anual prevista (Quadro 4.3).

Conclui-se que os pavimentos têm uma taxa de degradação anual que varia consoante o estado inicial, quando o pavimento está em boas condições ou em muito más a degradação desenvolve-se a um ritmo mais lento, do que quando o pavimento se encontra em condições médias ($50 < \text{PCI} < 80$). Tendo estes resultados devido à análise de *clusters* e querendo associar os grupos obtidos a um tipo de reabilitação específico, considera-se o Quadro 3.3 (página 18) e faz-se corresponder os custos dos tipos de reabilitação existentes em Ourém com os intervalos de PCI. Sabe-se que quanto menos degradado está o pavimento menor é o seu custo de reabilitação. Assim considera-se que pavimentos com PCI inferior a 50 necessitam de uma reabilitação do tipo 3, pavimentos com PCI entre 50 e 80 necessitam de uma reabilitação do tipo 2 e no caso de os pavimentos apresentarem um PCI superior a 80 deve-se aplicar a reabilitação do tipo 1 (Quadro 4.4).

Quadro 4.2- Características dos *clusters*

		Estado inicial		Degradação anual	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Cluster	1	83,35	8,55	-2,20	1,20
	2	39,90	16,19	-3,36	2,12
	3	74,95	13,15	-7,98	2,85
	outlier (-1)	86,00	.	-26,00	.
	Combinado	65,22	23,97	-3,61	2,92

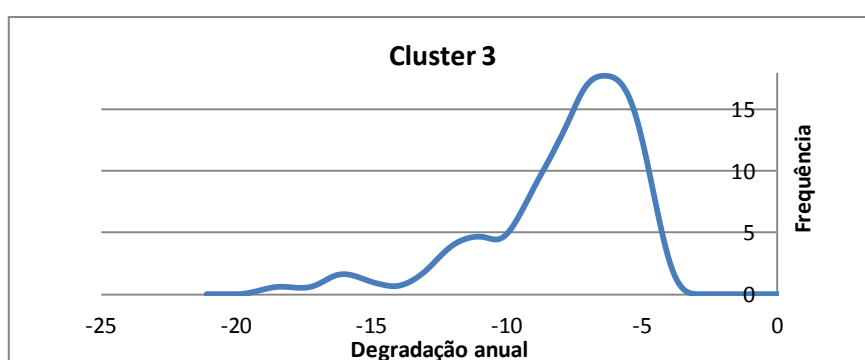


Figura 4.2- Distribuição da degradação anual do *cluster 3*

Quadro 4.3- Variação da degradação anual em função do estado inicial

Estado inicial	Degradação anual	
PCI > 80	-2,2	
50 < PCI < 80	Boa qualidade construção	-4,8
	Média qualidade construção	-5,4
	Má qualidade de construção	-6,1
PCI < 50	-3,4	

Quadro 4.4- Tipo de reabilitação associada ao intervalo do PCI

Tipo de Reabilitação	PCI	Preço unitário (€/m ²)
1	PCI > 80	8,00
2	50 < PCI < 80	15,00
3	PCI < 50	22,00

4.3 Custos de conservação

Para calcular o custo de conservação para cada troço deve-se ter em consideração o Quadro 4.4, que associa o tipo de reabilitação necessária de acordo com o intervalo de PCI. Assim o custo de conservação é igual ao produto entre o respetivo custo unitário e a área de degradação existente no troço. Como não se conhece a área ou comprimento das degradações considera-se o comprimento do troço e a sua largura para calcular a área a ser reabilitada. No entanto sabendo que a reabilitação do tipo 1 é aplicada quando o troço apresenta fendilhamentos e abatimentos dispersos, considera-se que apenas 10% da área do pavimento precisa de reabilitação. Em relação à reabilitação do tipo 2, descrita pelo troço ter fendilhamento, abatimentos e desagregações com alguma frequência, considera-se que 60% da área do pavimento precisa de reabilitação. A reabilitação do tipo 3 deve ser aplicada em pavimentos com abatimentos, fendilhamento e desagregações com muita frequência e necessidade de saneamento frequente, neste caso devido à gravidade e à dimensão dos trabalhos considera-se que toda a área do pavimento necessita de reabilitação.

4.4 Avaliação de estratégias

De seguida descrevem-se os resultados obtidos nas várias avaliações mencionadas no subcapítulo 3.7. Para cada avaliação que seja necessário definir o orçamento disponível para os 3 anos deverá ser considerado o valor médio, 6.458.961€ (Quadro 3.4 na página 18). No entanto este valor é referente a toda a rede viária de Ourém, o que significa que não será aplicado exclusivamente aos troços analisados nesta dissertação. Neste sentido, considera-se que 20% deste valor irá ser disponibilizado para as vias selecionadas, considerando uma margem razoável pois como todas as vias analisadas são classificadas como Estradas Municipais poderão ou não ter mais prioridade. Assim admite-se que o valor do orçamento disponível para reabilitação de troços analisados durante 3 anos é de 1.291.792€.

4.4.1 Avaliação A - Troços mais degradados

Por definição os troços mais degradados são os que apresentam o PCI mais baixo. O objetivo desta avaliação é selecionar os troços mais degradados e selecionar quais são possíveis de reabilitar com um orçamento específico, neste caso 20% do valor médio do orçamento disponível. De modo a alcançar este objetivo recorre-se ao separador descrito pela Figura 3.13 (página 32).

Nesta avaliação considera-se o levantamento realizado em 2015 e os respetivos PCI calculados. Após se ter previsto a evolução da degradação dos pavimentos até ao ano de 2018, calcula-se o custo de reabilitação de cada troço e estes mesmos troços serão ordenados de ordem crescente em relação ao PCI de 2018. Assim serão selecionados os troços que deverão ser reabilitados tendo em conta que os troços com PCI inferior têm prioridade em relação aos outros. Os troços selecionados para serem reabilitados correspondem aos mencionados no Quadro 4.5. Verifica-se que são selecionados 6 troços dos 59 troços totais em que o orçamento é de 1.291.050€ dos 1.291.792€ disponíveis, isto é, ficam sem ser aplicados 742€. Nesta avaliação verifica-se que troços como o 42 e o 36 não são dos troços mais degradados pois apresentam um PCI superior a 60, no entanto foram selecionados para serem reabilitados devido ao seu baixo custo de reabilitação e porque existe limitação de orçamento, caso contrário, muitos dos troços com PCI inferior a 50 seriam selecionados primeiro.

Quadro 4.5- Vias a reabilitar de acordo com a Avaliação A

ID troço	PCI ₂₀₁₈	Comprimento do troço (m)	Largura total (m)	Custo Reabilitação (€)
56	8	2600	4,9	280.280
52	10	3500	5,1	392.700
41	14	3500	6	462.000
55	41	2700	4,9	119.070
42	62	400	6	21.600
36	67	3500	5,5	15.400

4.4.2 Avaliação B - Aumento do custo de reabilitação

Nesta avaliação analisa-se a evolução dos pavimentos ao longo de três anos, mais concretamente, se a sua reabilitação se torna mais dispendiosa, por exemplo, se em vez de precisar de uma reabilitação do tipo 1 precisa de uma reabilitação do tipo 2 ou 3. Neste sentido selecionam-se todos os troços, que ao longo dos 3 anos, os seus custos de reabilitação aumentam e definem-se que devem ser reabilitados antes de isto acontecer, isto é, um ano antes. É possível calcular a poupança garantida, dada pela diferença entre o custo de reabilitar o troço no ano seguinte e no ano determinado (Anexo P).

Para reabilitar todos os troços o investimento total é de 1.191.190€ durante os 3 anos de análise e a poupança alcançada é de 3.001.640€. Nesta análise garante-se que os primeiros troços a reabilitar são os que garantem mais poupança, exceto casos em que o orçamento ainda disponível não permite reabilitar o seguinte troço que garante mais poupança e seleciona outro por ter o custo de reabilitação inferior.

De modo a analisar com mais detalhe os resultados obtidos para o levantamento existente, realizaram-se alguns gráficos dinâmicos. A Figura 4.3 representa a relação entre o PCI e a poupança garantida dos troços selecionados. É possível verificar que muitos dos troços a ser reabilitados apresentam PCI bastante elevados, isto demonstra que é importante aplicar medidas de prevenção pois estas garantem poupança.

Observando o Quadro 4.6 verifica-se que o ano em que a poupança anual é máxima é em 2017 e que também corresponde ao ano de maior investimento para a reabilitação dos troços. Assim deve-se garantir que o ano prioritário é o de 2017. Na Figura 4.3 possível observar os troços que apresentam maior poupança, respetivamente, em cada ano. Deste modo conclui-se que os troços devem ser reabilitados segundo a seguinte ordem:

- Em 2015, o primeiro troço é o 40 e de seguida o 22, 17, 55, 15 e 36;
- Em 2016, o primeiro troço é o 59 e de seguida o 38;
- Em 2017, o primeiro troço é o 27 e de seguida o 37, 49, 16, 54, 30, 10, 50 e 4.

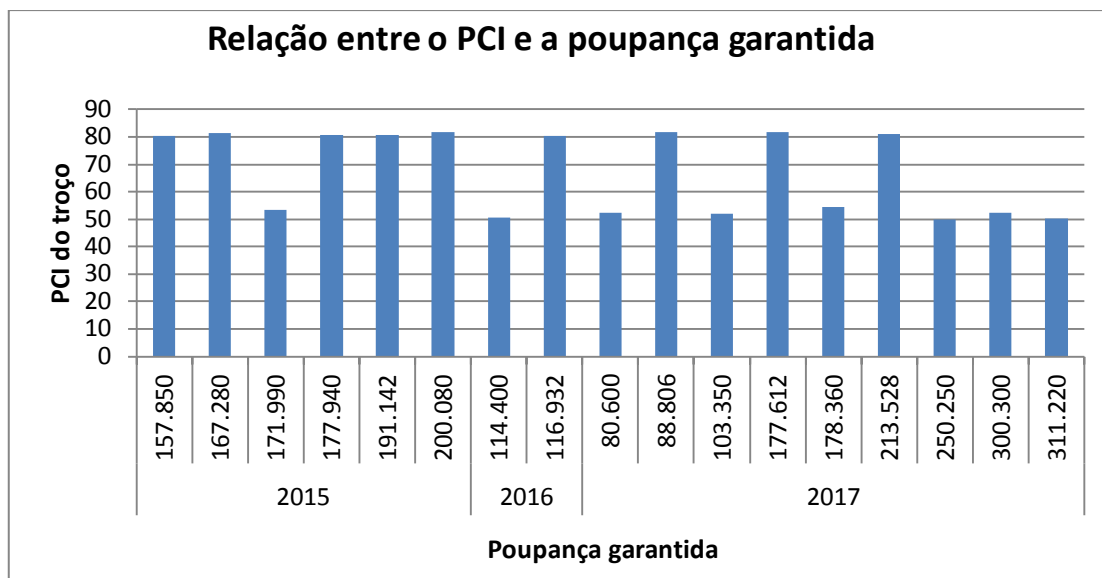


Figura 4.3- Gráfico que relaciona a poupança garantida com o PCI de um troço reabilitado no respetivo ano de reabilitação

Quadro 4.6- Resumo do custo de reabilitação e poupança por ano de investimento

Ano de investimento	Custo reabilitação (€)	Poupança (€)
2015	206.318	1.066.282
2016	90.608	231.332
2017	894.264	1.704.026

Repare que tendo em conta o aumento da taxa de inflação ao longo dos anos, isto é, o aumento dos preços, é mais vantajoso reabilitar o mais cedo possível para a mesma atividade de M&R não ser mais dispendiosa. No entanto neste cálculo não se considera as taxas de inflação de cada ano. Por outro lado tem que se ter em conta o orçamento disponível para cada ano, por isso se não for possível reabilitar todos estes troços, deve-se reabilitar os que garantem maior poupança ou caso não seja possível os que estão mais degradados.

No entanto como foi referido anteriormente, o orçamento disponível é de 1.291.792€ para os três anos de análise. Considerando neste caso que 1/3 deste valor, 430.597€, será aplicado em cada ano. Assim como primeira análise serão selecionados os troços que deverão ser reabilitados de acordo com o ano de reabilitação definido e o custo de reabilitação nesse mesmo ano. No Quadro 4.7 identificam-se os doze troços a reabilitar que garantem uma poupança de 2.027.810€. Repare que se for respeitado o orçamento anual disponível para cada ano e o ano em que cada troço deve ser reabilitado, o orçamento que sobra é superior a um ano de investimento, 566.892€.

Neste sentido, sabendo que se um troço for reabilitado antes do ano definido tem o mesmo custo, opta-se por considerar que os troços podem ser reabilitados antes do ano definido caso o orçamento necessário o permita. Avalia-se o caso de o orçamento não estar repartido de igual modo entre os três anos de análise, isto é, os troços prioritários serão os que apresentam maior poupança

independentemente do ano em que devem ser reabilitados, não havendo por isso limite de orçamento anual, mas um limite de orçamento total dos três anos. Esta análise irá garantir uma melhor utilização do orçamento. Assim verifica-se (Anexo Q) que o orçamento que sobra é bastante inferior ao anterior, 71.982€, como era de esperar, e a poupança é superior, pois é possível reabilitar dezasseis troços em vez dos doze troços obtidos na primeira análise.

Quadro 4.7 – Troços a reabilitar em cada ano de acordo com o orçamento anual e o ano a reabilitar definido

Reabilitar em	ID Troço a Reabilitar	Orçamento necessário (€)	Orçamento que sobra (€)	Poupança (€)
2015	15	206.318	224.279	1.066.282
	17			
	22			
	36			
	40			
2016	55	90.608	339.989	231.332
	59			
	38			
2017	16	427.974	2.623	730.196
	30			
	49			
	50			
	Total	724.900	566.892	2.027.810

Comparando as análises opta-se por implementar a que garante a poupança máxima e utiliza o máximo do orçamento disponível. Assim de acordo com estes resultados, esta última análise é a que irá ser efetivamente implementada na Ferramenta de Apoio à Decisão.

4.4.3 Avaliação C - Menor custo de reabilitação

Nesta avaliação pretende-se selecionar os troços que apresentam o menor custo de reabilitação até que a soma destes custos alcance o orçamento disponível. Mais concretamente, esta análise privilegia troços com PCI elevados, pois estes apresentam baixo custo de reabilitação, porque são reabilitados recorrendo a medidas preventivas. Neste sentido calcula-se o custo de reabilitação de cada via do ano atual e ordena-se por ordem crescente. De seguida, considerando que os troços que custam menos a reabilitar devem ser os primeiros escolhidos, seleciona-se os troços em que a soma do custo de reabilitação é igual ou inferior ao orçamento limite. No entanto considera-se que troços com PCI superior a 90 não devem ser considerados para serem reabilitados, apesar de terem um custo de reabilitação baixo, estes estão em quase perfeitas condições. Considerando novamente que o orçamento disponível para os três anos é de 1.291.792€, é utilizado 1.249.566€, em que o número de troços a reabilitar são vinte e quatro troços (Anexo R), sobrando ainda 42.226€.

4.4.4 Avaliação D - Qualidade inferior a um valor limite

Esta avaliação diferencia-se significativamente em relação às anteriores pois é realizada de um ponto de vista oposto, isto é, determina o orçamento necessário e não parte do princípio que existe um orçamento limite. Neste caso em específico, pretende-se determinar qual o orçamento necessário para garantir que toda a rede apresente uma qualidade superior a um valor específico, que deve ser introduzido no campo respetivo (Figura 3.16, página 33). De acordo com Bryce et al. (2013) o valor crítico para vias classificadas como distribuidoras locais é de 55. Assim nesta avaliação pretende-se reabilitar todos os troços que apresentam PCI inferior a 55 e garantir que no último ano de análise, 2018, que todos os troços estejam acima deste limite estabelecido. Os resultados obtidos consistem em reabilitar 18 troços sendo necessário um orçamento para os três anos de 3.759.950€ (Quadro 4.8). Sendo o orçamento disponível para os três anos de 1.291.792€ verifica-se que nem todos os troços podem ser reabilitados. No Anexo S estão representados os troços a reabilitar e que têm um custo total de 1.285.730€.

Quadro 4.8- Troços a reabilitar de modo a satisfazer a avaliação D

ID troço	PCI ₂₀₁₈	Custo Reabilitação (€)
56	8	280,280
52	10	392,700
41	14	462,000
8	31	469,700
9	34	416,020
55	41	119,070
38	42	79,200
49	45	173,250
27	45	215,460
10	47	71,550
4	47	55,800
37	47	207,900
54	48	123,480
5	51	195,300
57	51	88,200
58	52	195,300
45	52	157,500
13	55	57,240

4.5 Discussão dos resultados à luz das decisões do Município de Ourém

Como primeira análise e tendo em conta os troços a reabilitar obtidos em cada uma das avaliações descritas, pretende-se comparar com as decisões que o município de Ourém optou no ano de 2015. É de notar que apenas o ano de 2015 vai ser comparado, visto que por limitação de tempo, não é possível definir quais os troços que o município vai realmente reabilitar até 2018.

Observando assim a lista de vias que de facto foram escolhidas e reabilitadas pelo município de Ourém neste ano de 2015 (Quadro 4.9), verifica-se que a única via coincidente com as analisadas

nesta dissertação é a Estrada de Minde, designada como EM360, que é representada pelos dois troços, número 8 e 9. Como se pode verificar no Anexo M estes troços apresentam um PCI no ano de 2015 inferior a 45, isto demonstra o baixo estado existente nestes pavimentos. Neste sentido verifica-se que a degradação existente nos pavimentos é de certeza um fator importante e considerado, pelo município, como justificação da decisão e portanto esta é sempre reativa em relação ao estado do pavimento.

Quadro 4.9- Vias reabilitadas pelo Município de Ourém em 2015

Rua Gualberto Mendes - Freguesia de Caxarias
Rua Bairro dos Simões - Freguesia de Caxarias
Rua do Vale Capitão - Freguesia de Caxarias
Rua dos Arneiros - Gondemaria
Estrada de Minde (EM 360) - Ourém
Estrada dos Penedos Urqueira - Ourém
Rua Joaquim Bento Vieira - Seiça
Rua Santo André e Rua Martins - Freguesia de Caxarias
Rua dos Poços em Peras Ruivas - Freguesia de Seiça - Ourém
Vários arruamentos na União das Freguesias Freixianda, Ribeira do Fárrio e Formigais
Várias ruas na freguesia de Atouguia

Pode averiguar-se que a avaliação D, seleção dos troços com qualidade inferior ao valor limite, prevê a reabilitação dos dois troços mencionados. Como estes pavimentos estão muito degradados é previsível que sejam seleccionados pelo menos por uma das avaliações que selecciona os troços de acordo com a qualidade da superfície do pavimento.

Há razões relacionadas com a base de dados que podem justificar a baixa compatibilidade entre os resultados deste estudo e as decisões tomadas pelo Município. De facto não foi possível fazer o levantamento de toda a rede viária do município apesar dos 59 troços considerados.

Contudo, pensa-se que a principal razão se funde na completa atitude reativa por parte do município, isto é, só reabilita se o pavimento estiver mesmo degradado e esta decisão é provavelmente muito induzida pela reclamação pública dos utentes ou dos seus representantes.

5 Conclusão e trabalhos futuros

5.1 Conclusão

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver uma Ferramenta de Apoio à Decisão sobre como investir na conservação de redes rodoviárias secundárias, fácil de utilizar, fiável e de baixo custo de implementação no que respeita à obtenção da informação que serve para justificar as decisões. Este trabalho foi aplicado à rede rodoviária do Município de Ourém.

O processo desenvolvido numa primeira fase permite caracterizar o estado da superfície dos pavimentos de cada via, parte do modelo que mais acrescenta custo, sem recorrer a equipamentos mecânicos e sem ser necessário técnicos especializados. De seguida desenvolveu-se um modelo de previsão do comportamento das vias especificamente para este problema por comparação com uma situação semelhante detetada para Fremont, cidade do estado da Califórnia nos EUA. Finalmente puderam ser definidas diferentes estratégias de aplicação dos recursos financeiros a aplicar à conservação da rede rodoviária. Os diferentes resultados das avaliações permitem ao município analisar e considerar quais os factores que devem contribuir para a sua tomada de decisões.

Resumidamente, a identificação simplificada do estado do pavimento para o ano de partida (2015) através dum indicador global (PCI), a evolução do comportamento do pavimento obtida por aplicação da técnica de análise de *clusters* à realidade da cidade de Fremont, e a definição de estratégias de conservação considerando custos e a evolução do estado do pavimento baseada na evolução do seu comportamento assemelhado ao da cidade de Fremont, são as componentes essenciais da Ferramenta de Apoio à Decisão desenvolvida para Ourém. Considera-se desta forma que se atingiu o objetivo deste trabalho e que se contribui para o desenvolvimento de uma área que representa um problema real, que é cada vez mais importante, na sociedade atual.

Com este trabalho conclui-se que é possível que municípios com orçamentos reduzidos realizem o levantamento do estado atual dos pavimentos, de um modo simples e de baixo custo, e funcionalizando um instrumento semelhante ao desenvolvido para Ourém tenham a possibilidade de aplicar com critério medidas de conservação preventivas às suas redes rodoviárias, garantindo desta forma uma melhor gestão dos recursos financeiros que dispõem para o fazer.

5.2 Trabalhos Futuros

Há evidentemente melhorias que podem ser feitas à Ferramenta de Apoio à Decisão aquando de melhoramentos futuros:

- Tornar o cálculo do PCI mais preciso, o que também implica uma maior afetação de recursos humanos e portanto maiores custos. No entanto isso ajuda no que respeita à fiabilidade da caracterização;
- Encontrar referências como Fremont para efetuar a previsão do comportamento de pavimentos de modo a cobrir um maior número de estruturas e situações;
- Demonstrar o que se pode fazer com os mesmos recursos financeiros a médio prazo, comparando extensivamente os recursos efetivamente gastos e o estado previsível dos pavimentos a partir daí com o que daria se as atuações fossem mais preventivas, como agora é possível de verificar com a ferramenta desenvolvida;
- Integrar este projeto com a rede SIG existente sendo possível consultar toda a informação através da plataforma existente.

Referências Bibliográficas

- AASHTO, 2001. *Pavement Management Guide* 2nd ed., Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials. Available at: https://bookstore.transportation.org/item_details.aspx?ID=2024.
- Alsugair, A.M. & Al-Qudrah, A.A., 1998. Artificial Neural Network Approach for Pavement Maintenance. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 12(4), pp.249–255.
- Alves, R. & Delgado, C., 1997. *Processos estocásticos*, Porto. Available at: https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB4QFjAAahUKEwjNvPXU6pflAhUjg0KHd_ADIs&url=http://sigarra.up.pt/fep/en/publs_pesquisa.show_publ_file?pct_gdoc_id=64748&usg=AFQjCNGzvBAj4xklmUFAWL4Sz23KlghlXQ.
- ASCE@, 2013. 2013 Report Card for America's Infrastructure. , p.Roads: Conditions & Capacity. Available at: <http://www.infrastructurereportcard.org/a/#p/roads/conditions-and-capacity> [Accessed February 15, 2015].
- ASTM, 2011. ASTM Standard D6433- Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.
- Ayres, T.R., 1991. *Engineering and traffic survey for speed limits*, Fremont. Available at: <http://hdl.handle.net/2060/19930075150>.
- Branco, F., Santos, L.P. & Garcia, P.J., 2011. *Pavimentos Rodoviários* Edições Almedina, ed., Coimbra: Gráfica de Coimbra, LDA.
- Bryce, J.M. et al., 2013. Using Pavement Management to Support Maintenance and Engineering Policy Decisions for Small and Mid-Sized Municipalities. *Public Works Management & Policy*, 19(2), pp.148–163. Available at: <http://pwm.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/1087724X13507900> [Accessed June 28, 2015].
- Butt, A.A. et al., 1987. Pavement performance prediction using Markov process. *Transportation Research Record*, (1123), pp.12–19. Available at: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=282531>.
- CAeMD, 2013. *Construção e Reabilitação de Pavimentos - Indicadores de Estado de Conservação de Pavimentos*, Lisboa.
- Castro, M., 2003. *Agrupamento – “Clustering.”* Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- City of Fremont@, 2015. Demographics. Available at: <http://www.fremont.gov/184/Demographics> [Accessed July 8, 2015].
- Climate-Data.org, 2015. Dados climáticos para cidades mundiais. Available at: <http://pt.climate-data.org> [Accessed July 7, 2015].
- Colorado State University@, 2008. PAVER. Available at: <http://www.paver.colostate.edu/software.php> [Accessed July 5, 2015].
- DELL@, 2015. How To Group Objects Into Similar Categories, Cluster Analysis. Available at: <http://www.statsoft.com/Textbook/Cluster-Analysis#k> [Accessed July 17, 2015].

- Dewan, S.A., 2004. Pavement Management and Asset Management Side-by-Side. In I. Hoque and Associates, ed. *6th International Conference on Managing Pavements*. Arizona, p. 12.
- Diário da República, 2013. *Lei n.º 11-A/2013, de 28 de janeiro: Reorganização administrativa do território das freguesias*, <http://dre.pt/pdf1s/2013/01/01901/0000200147.pdf>. Available at: <http://dre.pt/pdf1s/2013/01/01901/0000200147.pdf>.
- Divisão de Obras Municipais, 2006. *Ficha de Inspeção de vias municipais- EM/CM*, Ourém.
- Flintsch, G. & McGhee, K.K., 2009. *Quality Management of Pavement Condition Data Collection - A Synthesis of Highway Practice*, Washington, D.C.
- Freitas, E.F. & Pereira, P.A., 2001. Estudo da Evolução do Desempenho dos Pavimentos Rodoviários Flexíveis. , pp.47–58. Available at: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/2519>.
- Fremont@, 2015. Pavement Management Program. Available at: <https://www.fremont.gov/383/Pavement-Management-Program> [Accessed July 2, 2015].
- Fwa, T.F. & Chan, W.T., 1993. Priority Rating of Highway Maintenance Needs by Neural Networks. *Journal of Transportation Engineering*, 119(3), pp.419–432.
- Gao, B., 2004. *A Gis-enabled Multi-Year pavement Rehabilitation needs analysis system*. Georgia Institute of Technology.
- George, K.P., Rajagopal, A.S. & Lim, L.K., 1989. Models for predicting pavement deterioration. *Transportation Research Board*, 1215, pp.25–32.
- Grivas, D.A. & Schultz, C., 1994. Integration of Pavement and Bridge Management Systems: a case study. In Transportation Research Board, ed. *Third International Conference on Managing Pavements*. San Antonio Texas, pp. 22–28. Available at: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=390715>.
- Haas, R.C., Hudson, W.R. & Zaniewski, J.P., 1994. *Modern pavement management* F. Malabar, ed., Krieger Pub. Co. Available at: <http://books.google.com/books?id=TstQAAAAYAAJ>.
- Hajek, J.J. et al., 1988. Knowledge-based expert system technology can benefit pavement maintenance. *Transportation Research Record*, (1145), pp.37–47.
- Halladay, M., 1998. The Strategic Highway Research Program: An Investment That Has Paid Off. *The Strategic Highway Research Program: An Investment That Has Paid Off*, 61(5), pp.11–17. Available at: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/98marapr/shrp.cfm>.
- IBM@, 2015. IBM Knowledge Center. Available at: http://www-01.ibm.com/support/knowledgecenter/SSLVMB_21.0.0/com.ibm.spss.statistics.help/twostep_notation.htm [Accessed July 3, 2015].
- INE, 2012. *Censos 2011 Resultados Definitivos – Região Centro*, Lisboa. Available at: http://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=379490&att_display=n&att_download=y [Accessed July 6, 2015].

- Instituto Geográfico Português, 2013. Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP). Available at: http://www.dgterritorio.pt/ficheiros/cadastro/caop/caop_download/caop_2013_0/areasfregmundistcaop2013_2.
- Kirbas, U. & Gursoy, M., 2010. *Developing the basics of pavement management system in Besiktas district and evaluation of the selected sections*, Istanbul.
- Kottek, M. et al., 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), pp.259–263.
- Kulkarni, R.B. & Miller, R.W., 2003. Pavement Management Systems: Past, Present, And Future. In *TRB 2003 Annual Meeting*. Kansas, pp. 1–26. Available at: www.ltrc.lsu.edu/TRB_82/TRB2003-000210.pdf.
- Lima, J.P., 2007. *Modelo de decisão para a priorização de vias candidatas às atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos*. Universidade de São Paulo.
- Moore, M. et al., 2001. Reliability of Visual Inspection for Highway Bridges. *Journal of Engineering Mechanics*, I(FHWA-RD-01-020), p.486. Available at: <http://www.tfhr.gov/hnr20/nde/01020.htm>.
- Norušis, M.J., 2011. Cluster Analysis. In *IBM SPSS Statistics 19 Statistical Procedures Companion*. pp. 361–391. Available at: http://www.norusis.com/pdf/SPC_v13.pdf.
- Ortiz-garcía, J.J., Costello, S.B. & Snaith, M.S., 2006. Derivation of Transition Probability Matrices for Pavement Deterioration Modeling. *Journal of Transportation Engineering*, 132(2), pp.141–161.
- Pardal, M., 2014. *Modelos probabilísticos de previsão de fendilhamento em pavimentos rodoviários*. Universidade Nova de Lisboa.
- Pavementinteractive@, 2015. Design Subgrade. Available at: <http://www.pavementinteractive.org/article/subgrade/> [Accessed October 1, 2015].
- Picado Santos, L. et al., 2004. Pavement management system for Lisbon. *Proceedings of the ICE - Municipal Engineer* 157, 157(3), pp.157–165. Available at: <http://www.icevirtuallibrary.com/content/article/10.1680/muen.2004.157.3.157>.
- Picado Santos, L., Ferreira, A. & Pereira, P.A.A., 2006. Estruturação de um Sistema de Gestão de Pavimentos para uma Rede Rodoviária de Carácter Nacional. *Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho*, 26, pp.45–59.
- Pierce, L., McGovern, G. & Zimmerman, K., 2013. *Practical Guide for Quality Management of Pavement Condition Data Collection*, Washington, DC.
- QGis@, 2015. Guia do utilizador do QGIS. Available at: http://docs.qgis.org/2.8/pt_PT/docs/user_manual/ [Accessed March 4, 2015].
- Ramalho, A., 2013. Novos Desafios para a Actividade Rodoviária - Novo Paradigma da Estradas de Portugal. In E. de Portugal, ed. *7º Congresso Rodoviário Português*. Lisboa: LNEC, pp. 1–37.
- Ramos, J. et al., 2006. *Mapas de Ruído - Plano de Urbanização de Ourém*, Ourém.

Ramos, J. & Matos, J., 2013. *Articulação do Regulamento Geral do Ruído com o Plano Diretor Municipal- Concelho de Ourém*, Ourém.

RapidMiner, 2014. Manual Rapidminer Studio. , p.116. Available at: <https://rapidminer.com/>.

Schacke, I. & Ertman Larsen, H.J., 1987. Pavement maintenance management systems in OECD countries. In Transportation Research Board, ed. *2nd North American Pavement Management Conference*. Toronto, Ontario, Canada, pp. 1311–1325. Available at: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=1185517>.

Sousa, V., 2012. *Gestão do risco na Construção*. Instituto Superior Técnico.

Washington State Department of Transportation, 1994. A guide for Local Agency Pavement Managers. , pp.0–218.

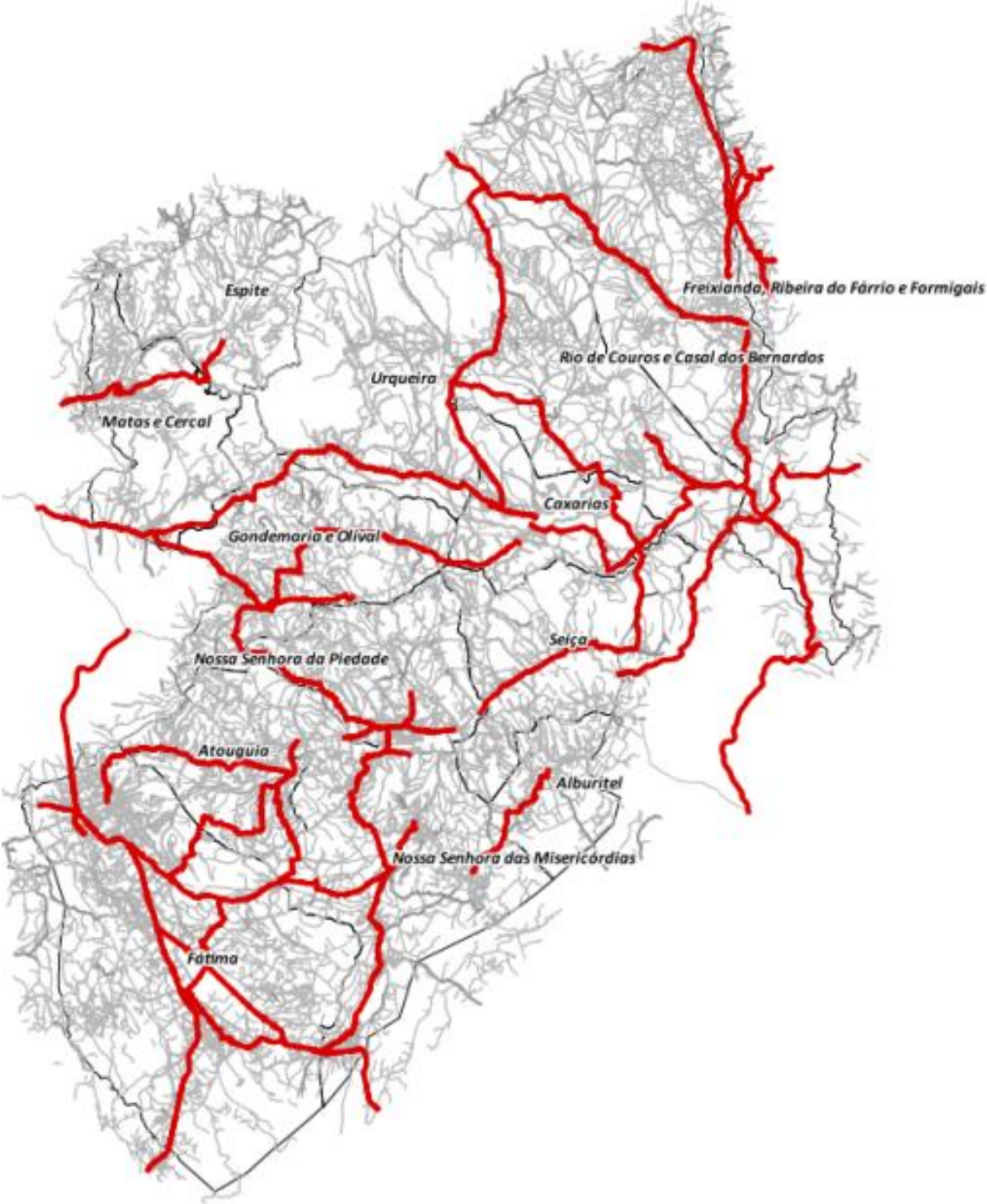
Yang, J. et al., 2005. Use of Recurrent Markov Chains for Modeling the Crack Performance of Flexible Pavements. *Journal of Transportation Engineering*, 131(11), pp.861–872.

Yu, J., Chou, E.Y.J. & Luo, Z., 2007. Development of Linear Mixed Effects Models for Predicting Individual Pavement Conditions. *Journal of Transportation Engineering*, 133(6), pp.347–354.

Zimmerman, K.A., 1995. Pavement Management Methodologies to Select Projects and Recommend Preservation Treatments. *Transportation Research Board - NCHRP Synthesis of highway Practice 222*, p.46.

Anexos

Anexo A- Vias analisadas identificadas no mapa do Município de Ourém





MUNICÍPIO DE OURÉM

Câmara Municipal
 Departamento de Ambiente, Ordenamento do Território e Obras
 Divisão de Obras Municipais
 Levantamento das EM (Estradas Municipais) e CM (Caminhos Municipais) na Área Geográfica do Concelho

FICHA DE *INSPEÇÃO* DE VIAS MUNICIPAIS - EM / CM

Identificação da Via: EM 357	Extensão: 11,3 km	Pontos Extremos / Intermédios: Torres Novas-Fátima-Leiria
Troço N.º: 01_02	Início: km 0	Fim: km 7,4

ESTADO DA VIA

Bom Razoável Mau Muito Mau

ALARGAMENTO

Necessidade de Alargamento	Ao km						
	Extensão (m)						

PATOLOGIAS MAIS SIGNIFICATIVAS

Descrição	km					
	0,90	1,50	2,90	3,3;1;3,2	3,70; 6,80	
• Deformação de Pavimento - Abatimento	0,90	1,50	2,90	3,3;1;3,2	3,70; 6,80	
• Deformação de Pavimento - Lombas	1,20					
• Existência de Roturas no Pavimento	0,90					
Presença de raízes de árvores						
Presença de Águas Freáticas						
Pavimento Vidrado						
Fissuras no Pavimento						
Outra:						

DRENAGEM SUPERFICIAL OBSTRUÍDA

Km						
Valetas						
Aquedutos						

DEFINIÇÕES - ESTADO DA VIA

Bom	Pavimento sem sinais visíveis de degradação, apresentando geralmente um pavimento "liso" (sem abatimentos), ausência de fissuras e lombas
Razoável	Pavimento sem sinais visíveis de degradação consideráveis, podendo surgir pontualmente abatimentos, fissuras e lombas
Mau	Pavimento com sinais de degradação generalizada, apresentando com frequência patologias a nível de abatimentos, fissuras, lombas, águas freáticas, drenagem das águas pluviais e roturas pontuais
Muito Mau	Pavimento em situações extremas de degradação, evidenciando falhas graves ao nível de betuminoso, dos abatimentos e acentuado agravamento das patologias referidas no item anterior

Anexo C- Orçamento detalhado da reabilitação do tipo 2 (fornecido pela CMO)

Reabilitação de pavimentos com fendilamentos, abatimentos e desagregações com alguma frequência		TIPO 2			
DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	ORÇAMENTO				
	Quantid.	Importâncias			Por capítulo
		Unitários	Por artigo	Por	
Preparação do pavimento existente, incluindo decapagem, fresagem, remoção e transporte a vazadouro do material sobran-te, fornecimento e aplicação de solos selecionados para regularização do pavimento até à cota existente, em zona de alargamento e todos os trabalhos necessários a uma boa execução e acabamento.	m ²	1,00	0,70 €	0,70 €	0,70 €
Regularização de áreas danificadas, incluindo escarificação, fornecimento e aplicação de tout-venant numa altura média de 0,15 metros, compactação, regularização e nivelamento até à cota existente, remoção e transporte a vazadouro do material sobran-te, e todos os trabalhos necessários a uma boa execução e acabamento.	m ²	1,00	7,80 €	7,80 €	7,80 €
Fornecimento e colocação de tapete de betão betuminoso em camada de regularização em mistura betuminosa tipo desgaste, com 0,06 de espessura incluindo rega de impregnação com emulsão catiónica de rotura lenta á taxa 1kg/m2.	m ²				
Camada de desgaste	m ²	1,00	6,00 €	6,00 €	6,00 €
Rega de colagem	m ²	1,00	0,50 €	0,50 €	0,50 €
Total					15,00 €

Anexo D. Orçamento detalhado da reabilitação do tipo 3 (fornecido pela CMO)

Reabilitação de pavimentos com abatimentos, fendilhamento e desagregações com muita frequência e necessidade de saneamento frequente					TIPO 3
DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	Un	ORÇAMENTO			
		Quantid.	Importâncias		
			Unitários	Por artigo	Por capítulo
Corte e arranque de betuminoso existente, incluindo remoção e transporte a vazadouro do material sobran­te e todos os trabalhos necessários a uma boa execução.	m ²	1,00	1,40 €	1,40 €	1,40 €
Fornecimento e aplicação de 0,50m de pedra de rachão, incluindo abertura de caixa, remoção e transporte a vazadouro do material sobran­te e todos os trabalhos necessários a uma boa execução e acabamento.	m ²	1,00	4,50 €	4,50 €	4,50 €
Fornecimento e aplicação de 0,20m de tout-venant, incluindo abertura de caixa, remoção e transporte a vazadouro do material sobran­te, rega e compactação, e todos os trabalhos necessários a uma boa execução e acabamento.	m ²	1,00	2,50 €	2,50 €	2,50 €
Pavimentação					
Fornecimento e colocação de tapete de betão betuminoso em camada de regularização em mistura betuminosa densa (Binder), na zona de alargamento, com 0,08 de espessura incluindo rega de impregnação com emulsão catiónica de rotura lenta á taxa 1kg/m2.	m ²				
Binder	m ²	1,00	6,50 €	6,50 €	6,50 €
Rega de impregnação	m ²	1,00	0,60 €	0,60 €	0,60 €
Fornecimento e colocação de tapete de betão betuminoso em camada de regularização em mistura betuminosa tipo desgaste, com 0,06 de espessura incluindo rega de impregnação com emulsão catiónica de rotura lenta á taxa 1kg/m2.	m ²				
desgaste	m ²	1,00	6,00 €	6,00 €	6,00 €
Rega de colagem	m ²	1,00	0,50 €	0,50 €	0,50 €
Total					22,00 €

Anexo E- Classificação das vias por níveis do fluxo total de tráfego e do tráfego de pesados (fornecido pela Câmara Municipal de Ourém)

	Nível de TMDA
EM 113	3
EM 113-1	1
EM 356-3	2
EM 357	3
EM 360	3
EM 501	1
EM 502	2
EM 503	2
EM 504	1
EM 505	2
EM 522	1
EM 523	2
EM 523-1	1
EM 523-2	2
EM 525	2
EM 559	2
EM 559-1	1
EM 559-2	1
EM 560	3
EM 561	2
EM 604	1
EM 606	1
EM 607	1
Estrada de Alvega	3

	Nível de tráfego de pesados
EM 113	2
EM 113-1	1
EM 356-3	2
EM 357	3
EM 360	3
EM 501	1
EM 502	1
EM 503	2
EM 504	1
EM 505	2
EM 522	1
EM 523	2
EM 523-1	1
EM 523-2	3
EM 525	1
EM 559	2
EM 559-1	1
EM 559-2	1
EM 560	2
EM 561	1
EM 604	1
EM 606	1
EM 607	1
Estrada de Alvega	3

Nível de TMDA	Veículos por dia
Nível 1	1.500
Nível 2	2.800
Nível 3	4.200

Nível de tráfego de pesados	Pesados por dia
Nível 1	115
Nível 2	160
Nível 3	220

MUNICÍPIO DE OURÉM

Câmara Municipal

Realizado em 2015

Levantamento das EM (Estradas Municipais) na Área Geográfica do Concelho

FICHA DE INSPECÇÃO DE VIAS MUNICIPAIS - EM

Identificação da Via: EM 360	Extensão: 6,6 km	Pontos Extremos / Intermediários: Minde-Fátima			
Troço N.º:	01	Início:	km 0	Fim:	km 3,5

PATOLOGIAS MAIS SIGNIFICATIVAS

Descrição	km													
	0	0,1	0,5	0,6	0,9	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2	2,1
Abatimento	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	3,1	3,2	3,5					

Roturas	0	0,1	0,5	0,6	0,9	1,2	1,8	2	2,1	2,2	2,6	3,5		

Fissuras	0	0,1	0,3	0,5	0,6	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2	2,1	2,2
	2,3	2,4	2,5	2,6	2,9	3,3	3,5							

Anexo G- Exemplo da ficha de degradações

MUNICÍPIO DE OURÉM
Câmara Municipal
Realizado em 2015

Levantamento das EM (Estradas Municipais) na Área Geográfica do Concelho

FICHA DE <i>INSPEÇÃO</i> DE VIAS MUNICIPAIS - EM					
Identificação da Via:		Extensão:		Pontos Extremos / Intermédios:	
EM 360		6,6	km	Minde-Fátima	
Troço N.º:		01		km	1,2



Anexo H- Vias Municipais e os respetivas estruturas de pavimentos e fundação (fornecido pela CMO)

Vias	Estrutura do Pavimento	Fundação
EM 113	Semi-Penetração + Binder (6cm)+Desgaste(4cm)	Terreno original + camada de tout venant
EM 113-1	Binder (6cm)+Desgaste(4cm)	
EM 356-3	Semi-Penetração + Binder (6cm)+Desgaste(4cm)	
EM 357		
EM 360		
EM 501		
EM 502		
EM 503		
EM 504		
EM 505		
EM 522		
EM 523		
EM 523-1		
EM 523-2		
EM 525		
EM 559		
EM 559-1		
EM 559-2		
EM 560		
EM 561		
EM 604		
EM 606		
EM 607	Semi-Penetração	
Estrada Alvega	Semi-Penetração + Binder (6cm)+Desgaste(4cm)	

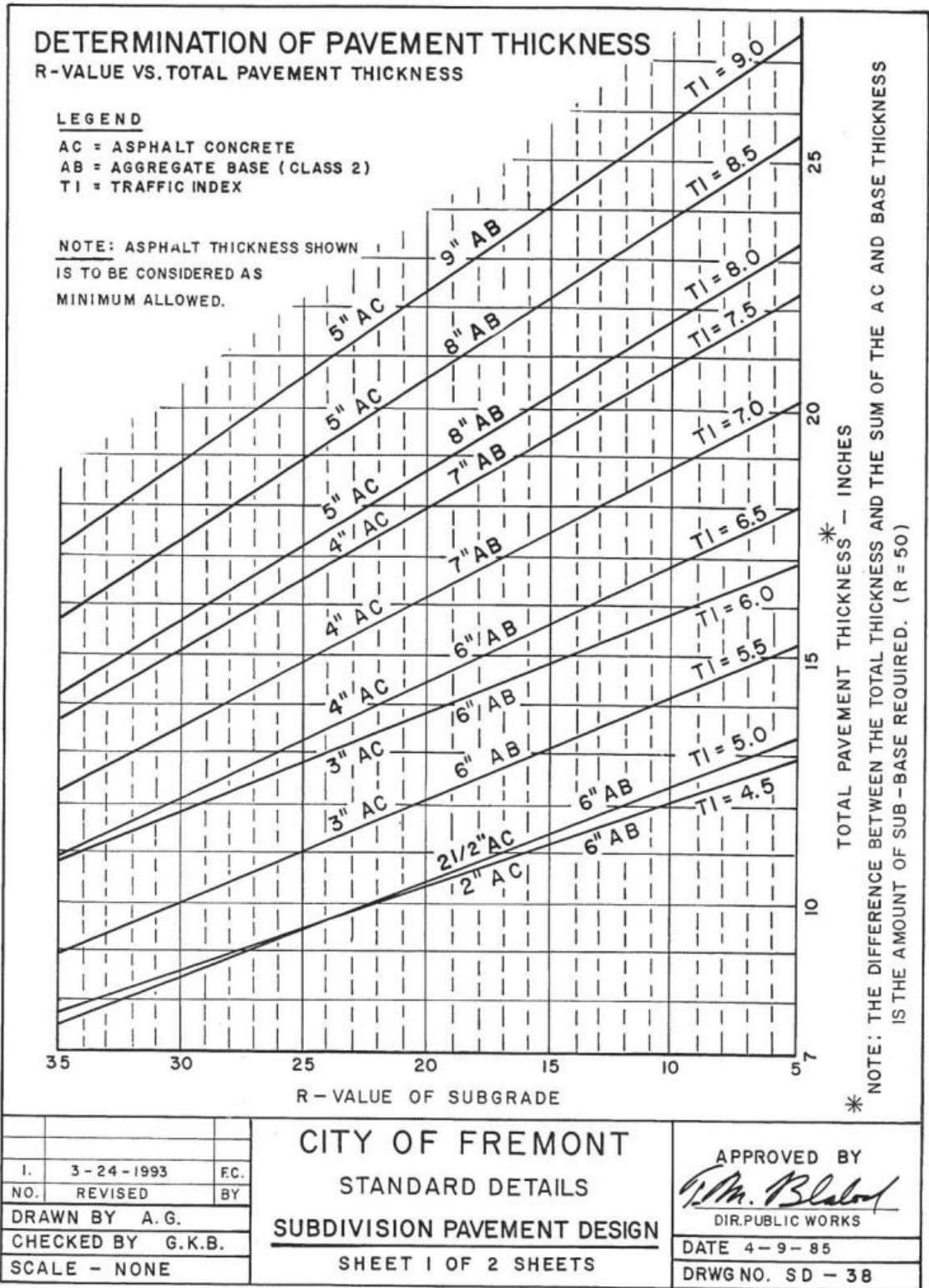
Anexo I- Classificação das vias de acordo com a qualidade de construção (fornecido pela CMO)

Vias	Qualidade de construção
EM 360	Boa
EM 501	
EM 505	
EM 522	
EM 559	
Estrada Alvega	
EM 113	Média
EM 113-1	
EM 357	
EM 502	
EM 503	
EM 504	
EM 523	
EM 523-1	
EM 523-2	
EM 525	
EM 559-1	
EM 559-2	
EM 560	
EM 561	
EM 604	
EM 606	
EM 607	Má

DETERMINATION OF TRAFFIC INDEX							
PRIVATE VEHICLE ACCESS WAYS		PUBLIC STREETS					
		AVERAGE DAILY TRAFFIC					
		2 LANE		4 LANE		6 LANE	
TI	DWELLING UNITS	IND.	OTHERS	IND.	OTHERS	IND.	OTHERS
4.5	0 – 25 DU		0 – 10 DU				
5.0	26 – 60 DU		11 – 20 DU				
5.5	61 – 130 DU		21 – 40 DU				
6.0	131 – 270 DU		41 – 75 DU				
6.5		900	76 – 150 DU	1250	2100		
7.0		1650	2750	2350	3950		
7.5		2950	4900	4200	7000		
8.0		5050	8450	7250	12050	10150	16900
8.5		8450	14050	12050	20050	16850	28100
9.0		13650	22700	19500	32400	27250	45450
9.5		21450	35800	30650	51050	42950	71550
10.0		33050	55050	47200	78550	66050	110100

<p>LEGEND</p> <p>TI = TRAFFIC INDEX DU = DWELLING UNITS IND = INDUSTRIAL</p>	<p>NOTE: AVERAGE DAILY TRAFFIC IS MAXIMUM ALLOWED FOR INDICATED TI.</p>
---	--

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; height: 15px;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">NO</td> <td style="font-size: 8px;">REVISED</td> <td style="font-size: 8px;">BY</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="font-size: 8px;">DRAWN BY A. G.</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="font-size: 8px;">CHECKED BY G.K.B.</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="font-size: 8px;">SCALE - NONE</td> <td colspan="5"></td> </tr> </table>									NO	REVISED	BY						DRAWN BY A. G.								CHECKED BY G.K.B.								SCALE - NONE								<p>CITY OF FREMONT</p> <p>STANDARD DETAILS</p> <p>SUBDIVISION PAVEMENT DESIGN</p> <p>SHEET 2 OF 2 SHEETS</p>	<p style="text-align: center;">APPROVED BY</p> <p style="text-align: center;"><i>T. M. Blalock</i></p> <p style="text-align: center; font-size: 8px;">DIR. PUBLIC WORKS</p> <hr style="width: 100%;"/> <p style="font-size: 8px;">DATE 4-9-85</p> <p style="font-size: 8px;">DRWG NO. SD - 38</p>
NO	REVISED	BY																																								
DRAWN BY A. G.																																										
CHECKED BY G.K.B.																																										
SCALE - NONE																																										



Anexo L- Base de dados com os resultados do cálculo do PCI de 2006

Id troço	Nome via	Estado Global 2006	PCI ²⁰⁰⁶ _{treino}	Abatimento 2006	Desagregação 2006	Fendilhamento 2006	PCI ²⁰⁰⁶ _{calculado}
1	EM 357	Razoável	85	17	3	0	94
2	EM 357	Razoável	85	5	0	0	99
3	EM 357	Muito Mau	50	38	0	0	90
4	EM 357	Razoável	85	40	0	0	90
8	EM 360	Muito Mau	50	23	0	0	94
9	EM 360	Muito Mau	50	35	3	3	89
27	EM 560	Razoável	85	19	0	0	95
28	EM 560	Razoável	85	11	0	0	97
29	EM 560	Razoável	85	14	6	0	94
30	EM 560	Razoável	85	16	5	0	94
33	EM 113	Mau	70	22	19	0	86
49	EM 559-1	Mau	70	14	29	0	85
58	Alvega	Razoável	85	9	6	0	95
59	Alvega	Razoável	85	9	0	0	98
5	EM 502	Razoável	85	14	3	0	95
6	EM 502	Razoável	85	5	5	0	97
7	EM 502	Razoável	85	5	0	0	99
14	EM 523-2	Razoável	85	23	3	0	93
15	EM 523-2	Razoável	85	3	0	0	99
16	EM 559	Razoável	85	12	5	2	94
17	EM 559	Razoável	85	9	0	0	98
18	EM 559	Razoável	85	12	0	2	96
19	EM 559	Razoável	85	57	14	0	79
20	EM 505	Razoável	85	14	6	0	94
21	EM 505	Razoável	85	10	0	10	95
22	EM 505	Razoável	85	5	0	0	99
23	EM 505	Razoável	85	11	11	4	92
24	EM 503	Bom	100	0	0	0	100
25	EM 503	Bom	100	0	0	0	100
26	EM 503	Razoável	85	3	3	0	98
31	EM 561	Razoável	85	11	0	0	97
32	EM 561	Razoável	85	11	0	0	97
34	EM 523	Razoável	85	34	6	0	89
35	EM 523	Razoável	85	19	6	0	93
36	EM 525	Razoável	85	34	3	0	90
37	EM 525	Razoável	85	19	2	0	94
38	EM 525	Razoável	85	63	19	0	76

ID troço	Nome via	Estado Global 2006	PCI ²⁰⁰⁶ _{treino}	Abatimento 2006	Desagregação 2006	Fendilhamento 2006	PCI ²⁰⁰⁶ _{calculado}
39	EM 501	Bom	95	0	3	0	99
40	EM 501	Bom	100	0	0	0	100
41	EM 523-1	Mau	70	17	0	0	96
42	EM 523-1	Mau	70	0	25	0	90
43	EM 522	Razoável	85	9	3	0	97
44	EM 522	Razoável	85	4	4	0	97
45	EM 504	Mau	70	3	6	0	97
46	EM 504	Razoável	100	0	0	0	100
50	EM 604	Razoável	85	5	5	0	96
51	EM 604	Muito Mau	50	7	0	3	98
52	EM 606	Muito Mau	50	3	0	0	99
53	EM 606	Razoável	85	7	7	0	95
10	EM 559-2	Razoável	85	7	13	0	93
11	EM 559-2	Razoável	100	0	0	0	100
12	EM 559-2	Razoável	100	0	0	0	100
13	EM 559-2	Razoável	85	17	8	0	92
47	EM 113-1	Mau	70	23	3	0	93
48	EM 113-1	Mau	70	14	0	0	96
54	EM 607	Mau	70	4	4	0	98
55	EM 607	Mau	70	11	0	4	96
56	EM 607	Muito Mau	50	15	15	0	90
57	EM 607	Razoável	85	20	0	0	95

Anexo M- Base de dados com os resultados do cálculo do PCI de 2015

ID troço	Nome via	Abatimentos ₂₀₁₅	Desagregações ₂₀₁₅	Fendilhamento ₂₀₁₅	PCI ²⁰¹⁵ _{calculado}
1	EM 357	28,57	2,86	5,71	90
2	EM 357	15,38	2,56	5,13	94
3	EM 357	17,24	0,00	0,00	95
4	EM 357	60,00	30,00	40,00	63
8	EM 360	85,71	57,14	60,00	41
9	EM 360	90,32	48,39	54,84	44
27	EM 560	61,90	21,43	64,29	61
28	EM 560	20,00	0,00	14,29	92
29	EM 560	42,86	20,00	2,86	80
30	EM 560	21,05	7,89	23,68	86
33	EM 113	38,89	27,78	33,33	71
49	EM 559-1	57,14	28,57	57,14	61
58	Alvega	48,57	25,71	54,29	65
59	Alvega	34,78	8,70	21,74	83
5	EM 502	60,00	5,71	68,57	67
6	EM 502	35,71	9,52	59,52	74
7	EM 502	20,00	5,00	20,00	88
14	EM 523-2	51,43	11,43	28,57	76
15	EM 523-2	41,18	2,94	29,41	81
16	EM 559	14,29	4,76	40,48	85
17	EM 559	42,86	2,86	31,43	81
18	EM 559	19,05	0,00	23,81	90
19	EM 559	0,00	14,29	0,00	94
20	EM 505	28,57	8,57	0,00	89
21	EM 505	47,62	23,81	19,05	74
22	EM 505	40,54	10,81	18,92	81
23	EM 505	42,86	10,71	35,71	76
24	EM 503	8,57	0,00	2,86	97
25	EM 503	7,14	0,00	9,52	96
26	EM 503	36,11	5,56	5,56	87
31	EM 561	28,57	0,00	11,43	90
32	EM 561	16,22	5,41	2,70	93
34	EM 523	85,71	11,43	8,57	71
35	EM 523	55,56	13,89	2,78	79
36	EM 525	37,14	20,00	8,57	80
37	EM 525	64,29	14,29	64,29	63
38	EM 525	100,00	0,00	81,25	56
39	EM 501	42,42	12,12	69,70	68

ID troço	Nome via	Abatimentos ₂₀₁₅	Desagregações ₂₀₁₅	Fendilhamento ₂₀₁₅	PCI ²⁰¹⁵ _{calculado}
40	EM 501	30,00	2,50	42,50	82
41	EM 523-1	88,57	80,00	91,43	24
42	EM 523-1	25,00	25,00	25,00	78
43	EM 522	8,57	2,86	0,00	97
44	EM 522	26,92	3,85	3,85	91
45	EM 504	54,29	14,29	54,29	68
46	EM 504	22,22	0,00	27,78	88
50	EM 604	26,32	5,26	21,05	86
51	EM 604	0,00	0,00	0,00	100
52	EM 606	94,29	85,71	91,43	20
53	EM 606	10,71	10,71	10,71	90
10	EM 559-2	60,00	13,33	73,33	63
11	EM 559-2	0,00	0,00	0,00	100
12	EM 559-2	0,00	0,00	0,00	100
13	EM 559-2	41,67	8,33	66,67	71
47	EM 113-1	0,00	0,00	2,86	99
48	EM 113-1	0,00	0,00	0,00	100
54	EM 607	46,43	14,29	71,43	66
55	EM 607	55,56	48,15	55,56	53
56	EM 607	92,31	92,31	88,46	18
57	EM 607	25,00	35,00	0,00	50,00

Anexo N- Parte da base de dados de Fremont

Nome da Via	Classe	2000	2001	2002	2003	2004	2006	2009	2012	2014
SELMA AVE	R			100				86	82	85
FREMONT BLVD	A						100	87	89	84
POMACE ST	R					63		18	57	73
PORTER ST	R	100						89	86	81
POPPY CT	R		100					86	83	75
FOLSUM WAY	R				79			40	30	28

Anexo O- Descrição da análise de cluster e do método Two-Step Cluster

A análise de *clusters* pode ser utilizada em diversas áreas, como reconhecimento de padrões na análise de dados (*Data Mining*), algoritmos que aprendem com o passado e preveem a evolução no futuro (*Machine learning*), processamento de imagem e pesquisa de mercado. Esta análise consiste numa classificação de objetos similares em diferentes grupos (*clusters*). “Um *cluster* é um conjunto de objetos semelhantes entre si dentro do mesmo cluster e dissimilares em relação a objetos noutros clusters” (Castro 2003), de modo a que os grupos obtidos sejam os mais homogêneos e separados possíveis. Os *clusters* são normalmente baseados em torno de um centro. O ajuste e definição do desse centro depende do algoritmo utilizado. Normalmente para identificar objetos que pertencem a um *cluster*, utiliza-se uma regra de distância entre objetos a partir do centro do cluster num espaço multidimensional, onde cada dimensão representa uma variável a ser comparar (Castro 2003). A análise de Clusters pode ser realizada de acordo vários métodos, como o *Two-Step Cluster* ou *K-means clustering means cluster*. O modelo *Two-Step Cluster* é formado por dois passos distintos (Castro 2003).

O primeiro passo do método *Two-Step Cluster* tem como objetivo formar *precluster* de modo a reduzir o tamanho da matriz que contém as distâncias entre todos os pares possíveis. Este passo consiste em percorrer os dados um por um e decidir se deve ser adicionado aos *preclusters* previamente formados ou se se forma um novo *precluster* com base no critério da distância. Este critério de distância pode ser a Distância do Log-verossimilhança ou a Distância Euclidiana. A medida de Distância do Log-verossimilhança pode ser aplicada com variáveis contínuas e categóricas. Esta medida de distância considera que variáveis contínuas têm uma distribuição normal e variáveis categóricas têm uma distribuição multinomial e que estas são independentes entre si. A distância entre os *clusters* J e S é definido pela equação 0.1 (IBM@ 2015):

$$d(i, j) = \xi_i + \xi_j - \xi_{\langle i, j \rangle} \quad (0.1)$$

Onde

$$\xi_v = -N_v \left(\sum_{k=1}^{K^A} \frac{1}{2} \cdot \log(\hat{\sigma}^k + \hat{\sigma}^{vk}) \right) + \sum_{k=1}^{K^B} \hat{E}^{vk} \quad (0.2)$$

E

$$\hat{E}^{vk} = - \sum_{l=1}^{L_k} \frac{N_{vkl}}{N_v} \cdot \log \frac{N_{vkl}}{N_v} \quad (0.3)$$

em que:

K^A Número total de variáveis contínuas utilizadas no procedimento.

K^B Número total de variáveis categóricas utilizados no procedimento.

L_k Número de categorias para a k-ésima variável categórica.

- N Número total de registos de dados
- N_k Número de registos de dados do *cluster* k.
- $\hat{\sigma}^2$ A variância estimada da k-essima variável contínua em relação ao dataset inteiro
- $\hat{\sigma}^{jk}$ A variância estimada da k-essima variável contínua no *cluster* j.
- N_{jkl} Número de registos de dados no *cluster* j cuja k-essima variável categórica toma a primeira categoria .
- $d(i, j)$ Distância entre o cluster i e j
- $\langle i, j \rangle$ Índice que representa o *cluster* formado pela combinação dos *clusters* i e j

Para resolver o problema de o logaritmo ser indefinido quando $\hat{\sigma}_{vk}^2 = 0$, considera-se o termo $\hat{\sigma}_k^2$. Por outro lado, a medida de Distância Euclidiana só pode ser aplicada se todas as variáveis forem contínuas. A distância euclidiana em coordenadas cartesianas, entre dois pontos, $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ e $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$, é dada pela equação 0.4 (DELL@ 2015).

$$d(p, q) = d(q, p) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2} \quad (0.4)$$

A distância euclidiana permite determinar a distância entre dois *clusters*, como sendo a distância Euclidiana entre os dois centros dos clusters. Quando este passo estiver concluído todos os objetos do mesmo *precluster* são tratados como uma única entidade. Assim o tamanho da matriz de distância apenas depende do número de *precluster* e não do número de objetos (IBM@ 2015).

O segundo passo consiste em agrupar os *preclusters* utilizando o algoritmo de agrupamento hierárquico (*Hierarchical Clustering*). Este algoritmo, segundo Norušis (Norušis 2011), pode ser de dois tipos: aglomerativo ou divisivo. O aglomerativo considera que cada objeto é um *cluster* e ao longo do processo os clusters semelhantes são juntos, até se formar apenas um *cluster*. O caso divisivo começa com todos os objetos num *cluster* e acaba com todos em *clusters* individuais. Para aplicar este método e para que o resultado final seja relevante é necessário definir vários critérios como, determinar a semelhança ou a distância entre objetos, determinar quais os *clusters* que são juntos em etapas sucessivas e o número de *clusters* que são necessários para representar o *dataset*, isto é, quantos clusters finais são pretendidos. Neste caso em concreto este algoritmo será aplicado aos *preclusters*, por isso não é necessário introduzir toda esta informação. É possível especificar o número de clusters pretendido ou o algoritmo decide consoante os critérios selecionados (Norušis 2011).

Anexo P- Lista dos troços que o seu custo de reabilitação aumenta nos 3 anos de análise

ID Troço	Reabilitar em	PCI do ano a reabilitar	Custo de Reabilitação (€)	Poupança (€)
4	2017	52	55.800	80.600
10	2017	52	71.550	103.350
15	2015	81	16.320	167.280
16	2017	81	20.832	213.528
17	2015	81	17.360	177.940
22	2015	81	18.648	191.142
27	2017	50	215.460	311.220
30	2017	82	17.328	177.612
36	2015	80	15.400	157.850
37	2017	52	207.900	300.300
38	2016	50	79.200	114.400
40	2015	82	19.520	200.080
49	2017	50	173.250	250.250
50	2017	82	8.664	88.806
54	2017	54	123.480	178.360
59	2016	80	11.408	116.932
55	2015	53	119.070	171.990

Anexo Q- Troços a reabilitar em cada ano de acordo com o orçamento anual segundo a avaliação B

Reabilitar em	ID Troço a Reabilitar	Orçamento necessário (€)	Orçamento que sobra (€)	Poupança (€)
2015	15	206.318	-	1.066.282
	17			
	22			
	36			
	40			
	55			
2016	59	90.608	-	231.332
	38			
2017	4	922.884	-	1.525.666
	10			
	16			
	27			
	30			
	37			
	49			
	50			
Total		1.219.810	71.982	2.823.280

Anexo R- Troços a reabilitar em função do orçamento disponível segundo a avaliação C

ID troço	Custo Reabilitação (€)	PCI ₂₀₁₅
46	7.200	88
50	8.664	86
7	9.920	88
59	11.408	83
36	15.400	80
15	16.320	81
30	17.328	86
17	17.360	81
20	17.640	89
26	17.856	87
22	18.648	81
40	19.520	82
16	20.832	85
42	21.600	78
4	55.800	63
13	57.240	71
10	71.550	63
38	79.200	56
57	88.200	69
21	119.070	74
55	119.070	53
54	123.480	66
45	157.500	68
23	158.760	76

Anexo S- Troços a reabilitar de acordo com o orçamento disponível segundo a avaliação D

ID troço	PCI ₂₀₁₈	Custo Reabilitação (€)
56	8	280,280
52	10	392,700
41	14	462,000
38	42	79,200
56	8	280,280
52	10	392,700
10	47	71.550
	Total	1.285.730

