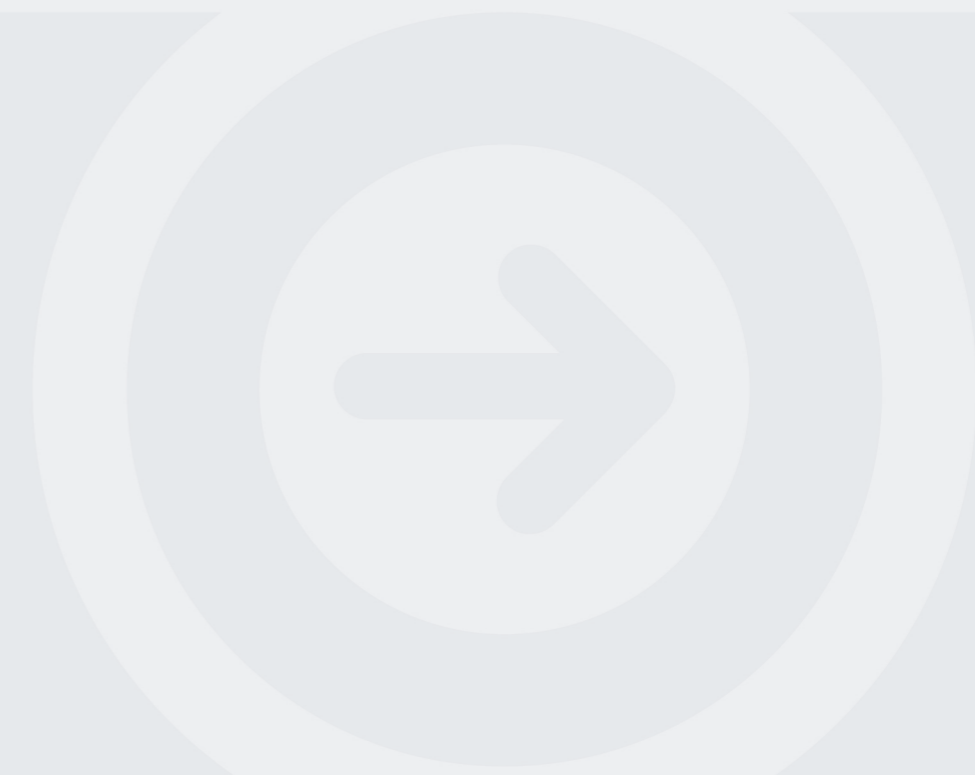


Projeto de Reabilitação da EM 607 no Concelho de Valongo

RICARDO DANIEL DE SOUSA PEREIRA

Outubro de 2014



Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível com a ajuda de algumas pessoas e a elas deixo, aqui, o meu agradecimento.

Em primeiro lugar, ao engenheiro e orientador deste projeto, Ângelo Jacob, pela disponibilidade e ajuda, que, através do seu conhecimento e experiência, indicou sempre qual o melhor caminho a seguir.

À Câmara Municipal de Valongo, em particular ao seu vice-presidente, srº Sobral Pires e à responsável pelo departamento de vias de comunicação, engenheira Ana Paula Marques, por ter permitido que fosse possível fazer o estudo do pavimento, fornecendo todo o material disponível, bem como disponibilizando os funcionários necessários.

À engenheira Jacinta Moreira, que foi o elo de ligação com a Câmara Municipal de Valongo, pela disponibilidade e empenho, tendo-se mostrado sempre prestativa ao longo do projeto.

Ao laboratório de Materiais de Construção do ISEP, pelo material fornecido aquando da realização dos ensaios “*in situ*” .

Por último, aos meus familiares e todos aqueles que, de uma forma direta ou indireta, ajudaram na elaboração deste projeto.

Resumo

Pretende-se com este trabalho fazer um estudo detalhado de um troço da Estrada Municipal 607, situado no concelho de Valongo, caracterizando o seu estado de degradação e definindo qual ou quais as soluções mais convenientes de reabilitação a adotar. O pavimento alvo deste trabalho é abrangido por três ruas pertencentes à EM 607, Rua de Vilar, Rua de Cabeda e Rua D. Pedro IV e apresenta uma extensão total de 4,8 km.

Este trabalho pode ser dividido em duas partes distintas: uma primeira parte, mais do âmbito teórico, onde é feita uma abordagem histórica desde o desenvolvimento dos pavimentos rodoviários até aos métodos e pavimentos existentes na atualidade e uma segunda parte, que diz respeito ao desenvolvimento prático do trabalho, onde é feito um estudo do pavimento e são apresentadas soluções de reabilitação e respetivos dimensionamentos.

Iniciou-se o estudo do pavimento com uma análise geral das patologias existentes, definindo o estado de degradação em que este se encontra. Concluiu-se que se estava na presença de um pavimento muito degradado, havendo troços com um nível de degradação muito elevado, o que proporciona desconforto na circulação dos condutores. Foi efetuado um estudo de tráfego de pesados, onde se percebeu que se tratava de um pavimento com intenso tráfego de pesados e que talvez este pavimento não esteja apto para o suportar. A retirada de carotes veio confirmar este pressuposto, pois as espessuras das camadas betuminosas mostraram ser insuficientes para o atual volume de tráfego.

As soluções de reabilitação foram ao encontro de várias soluções para diferentes situações, dando aos responsáveis da Câmara Municipal de Valongo a possibilidade de optarem por aquela que melhor se ajuste às suas necessidades, bem como às suas condições financeiras. Assim, foram propostas três soluções para três capacidades de resistência e períodos de vida úteis distintos. A primeira solução engloba a remoção do pavimento existente e colocação de uma estrutura completamente nova, com três camadas betuminosas e dimensionada para o volume de tráfego atual, apresentando um período de vida útil de 20 anos, mas que é mais dispendiosa. A segunda solução apresenta apenas duas camadas betuminosas, onde seriam removidas apenas as camadas betuminosas, aproveitando a camada de sub-base. Esta solução tem um período de vida útil estimado de cerca de 8 anos. A terceira solução, com um período de vida útil de 5 anos, baseia-se na remoção parcial de uma largura da faixa de rodagem, aproveitando a restante. Na largura removida seria colocada uma estrutura de pavimento nova e dimensionada na segunda solução. Por último, foi dimensionado o sistema de drenagem transversal e longitudinal, sendo caracterizadas as linhas de águas e as respetivas bacias hidrográficas. As valetas e passagens hidráulicas existentes não estão dimensionadas para o atual escoamento de águas pluviais a que o pavimento está sujeito. As valetas são muito reduzidas, apresentando-se em alguns casos degradadas ou a necessitarem de limpeza urgente.

Abstract

The aim of this project is to study, in detail, part of a municipal road, “Estrada Municipal 607”, located in the municipality of Valongo, by indicating its degradation condition and defining the best solution for its rehabilitation in terms of pavement. This pavement includes three roads that belong to EM 607- Rua de Vilar, Rua de Cabeda and Rua D. Pedro IV.

This project can be divided into two different parts: the first part is in the theoretical framework where we have a historical approach from the development of road pavement up to the methods and pavement we have nowadays and the second part refers to the practical work, where an analysis of the pavement is done and rehabilitation solutions are presented, as well as their extension.

We started studying the pavement by analysing the current problems and defining its state of degradation. It was concluded that it is a severely degraded pavement, which includes parts where the level of degradation is extremely high, originating discomfort in the drivers that use it. A study analysing the level of traffic was carried out and it indicated that this pavement is daily used by many trucks and maybe this pavement is not adequate for it. The removal of the “carotes” (part of the pavement) confirmed this theory because the thicknesses of the bituminous layers proved to be insufficient for the current flow of traffic.

The rehabilitation solutions include several solutions for different situations, offering the people in charge of “Câmara Municipal de Valongo” the possibility to choose the best solution for them. So, they were given three rehabilitation solutions for different resistant capacities and for different periods of durability of the pavement. The first solution is to remove the present pavement and place a new structure with three bituminous layers, dimensioned for the current flow of traffic current. The pavement will last twenty years, however this solution is more expensive. The second solution is to place two bituminous layers after only removing the bituminous layers and maintaining the sub-base layer. With this solution the pavement will last eight years. The third solution, where the pavement will last five years, means removing one track of the pavement, using the rest. In the removed track of pavement we would place a new pavement structure dimensioned in the second solution. Finally, the transversal and longitudinal drainage system was dimensioned, indicating the water lines and their hydrographic basin. The current gutters and hydraulic passages aren't dimensioned for the pluvial drain that the pavement supports. The gutters are very small and in some cases they are degraded or need urgent cleaning.

Índice de Texto

1. Introdução	1
1.1. <i>Enquadramento</i>	1
1.2. <i>Objetivos</i>	2
1.3. <i>Metodologia</i>	2
1.4. <i>Estrutura</i>	3
2. Referências Históricas	5
2.1. <i>Desenvolvimento dos Transportes</i>	5
2.2. <i>Primeiros Caminhos</i>	5
2.3. <i>Egito</i>	5
2.4. <i>Asia</i>	6
2.5. <i>Romanos</i>	6
2.6. <i>Incas</i>	9
2.7. <i>Portugal</i>	10
2.8. <i>Evolução dos Pavimentos Rodoviários</i>	19
2.8.1. Evolução dos Materiais.....	19
2.8.2. Evolução dos Processos de Dimensionamentos	23
3. Caracterização dos Pavimentos Rodoviários	25
3.1. <i>Tipos de Pavimentos Rodoviários</i>	25
3.1.1. Pavimento Flexível	27
3.1.2. Pavimentos Rígidos	27
3.1.3. Pavimentos Semi-Rígidos.....	28
3.1.4. Pavimentos Granulares	29
3.2. <i>Características do Pavimento Flexível</i>	29
3.2.1. Camadas	29
3.2.2. Misturas betuminosas	32
3.2.3. Agregados.....	37
3.3. <i>Degradação dos Pavimentos – Conservação e Reabilitação</i>	38
3.3.1. Tráfego	40
3.3.2. Temperatura.....	41
3.3.3. Patologias do pavimento rodoviário	41
4. Informação Recolhida para o Estudo do Pavimento Rodoviário	47
4.1. <i>Intercâmbio com a Câmara Municipal de Valongo</i>	47
4.2. <i>Descrição do Pavimento a Reabilitar</i>	47

4.3.	<i>Conclusão das Informações Recolhidas Sobre o Pavimento Rodoviário</i>	53
5.	Análise do Pavimento Existente	54
5.1.	<i>Reconhecimento do Pavimento</i>	54
5.2.	<i>Elaboração do Inventário</i>	54
5.3.	<i>Identificação das Patologias e Preliminares Soluções</i>	57
5.3.1.	Rua de Vilar.....	57
5.3.2.	Rua de Cabeda.....	63
5.3.3.	Rua de D. Pedro IV.....	72
5.3.4.	Comportamento da Drenagem em Dias de Chuva	78
5.3.5.	Caraterísticas das Valetas	79
5.4.	<i>Avaliação das Camadas de Pavimento Existentes</i>	81
5.4.1.	Análise de Campo.....	81
5.5.	<i>Estudo Superficial do Pavimento (Rodeiras)</i>	88
5.6.	<i>Medição da Largura da Faixa de Rodagem</i>	91
5.7.	<i>Conclusão da análise do pavimento</i>	93
6.	Estudo de um Novo Pavimento	94
6.1.	<i>Contagens de tráfego</i>	94
6.2.	<i>Temperatura</i>	109
6.3.	<i>Dimensionamento e Soluções a Adotar</i>	112
6.3.1.	Solução de Longo Prazo	112
6.3.2.	Solução de Médio Prazo	123
6.3.3.	Solução – Curto Prazo	130
6.4.	<i>Passeios</i>	131
6.4.1.	Conclusão do Dimensionamento do Pavimento.....	133
7.	Drenagem	134
7.1.	<i>Importância da Drenagem</i>	134
7.2.	<i>Drenagem Transversal</i>	134
7.3.	<i>Drenagem Longitudinal</i>	143
7.3.1.	Valetas.....	144
7.3.2.	Sargetas	148
7.4.	<i>Conclusões da drenagem</i>	150
8.	Mapa de Quantidades e Estimativa Orçamental	152
8.1.	<i>Breve Nota</i>	152
8.2.	<i>Solução de Longo Prazo com MBAM</i>	152
8.3.	<i>Solução de Longo Prazo com ABGEC</i>	154

8.4.	<i>Solução de Médio Prazo</i>	156
8.5.	<i>Solução de Curto Prazo</i>	158
8.6.	<i>Conclusão das estimativas orçamentais</i>	159
9.	Conclusão	160
9.1.	<i>Considerações Finais</i>	160
9.2.	<i>Desenvolvimentos Futuros</i>	162
10.	Bibliografia	163
11.	Anexos	166

Índice de Figuras

Figura 1 – Rota da Seda	6
Figura 2 – Via Ápia	7
Figura 3 – Constituição do Pavimento Romano	9
Figura 4 – Mala-Posta	10
Figura 5 – Carta Milita das Estradas de Portugal em 1808	11
Figura 6 – Tempo que um Correio Expresso Levaria de Lisboa às Capitais de Distrito	12
Figura 7 – Rede Rodoviária Nacional (PRN 2000)	17
Figura 8 – Construção da Primeira Estrada Macadamizada nos EUA	19
Figura 9 – Camadas do Pavimento Rodoviário	26
Figura 10 – Constituição de um Pavimento Flexível	27
Figura 11 – Constituição de um Pavimento Rígido	27
Figura 12 – Execução de um Pavimento Rígido	28
Figura 13 – Comparação das Tensões Entre o Pavimento Flexível e Rígido	28
Figura 14 – Constituição de um Pavimento Semi-rígido	28
Figura 15 – Constituição de um Pavimento Granular	29
Figura 16 – Processo de Produção de Agregados por Britagem	35
Figura 17 – Subcategorias dos Veículos Pesados	41
Figura 18 – Pele de Crocodilo	42
Figura 19 – Malha Larga	42
Figura 20 – Fenda Longitudinal	43
Figura 21 – Fenda Longitudinal	43
Figura 22 – Fenda Transversal	43
Figura 22 – Fenda Transversal	43
Figura 23 – Rodeira	44
Figura 24 – Pavimento Ondulado	44
Figura 25 – Deformação Localizada	44
Figura 26 – Exsudação de Betume	45
Figura 27 – Desprendimento de Agregado	45
Figura 28 – Polimento de Agregados	45
Figura 29 – Desagregação Superficial	45
Figura 30 – Ninho	46
Figura 31 – Localização de Alfena	48
Figura 32 – Localização da EM 607	48
Figura 33 – Localização das Ruas de Vilar, Cabeda e D. Pedro IV	49
Figura 34 – Peças Desenhadas da Rua de Vilar	50
Figura 35 – Projeto da Rua de Cabeda e D. Pedro IV	50
Figura 36 – Peças Desenhadas da Rua D. Pedro IV	51
Figura 37 – Peças Desenhadas da Rua de Cabeda	52

Figura 38 – Carta Militar do Concelho de Valongo	52
Figura 39 – Troço da Planta em AutoCad com a Imagem do Google a 500m Sobreposta	52
Figura 40 – Troço da Planta em AutoCad com o Eixo da Estrada	56
Figura 41 – Rua de Vilar Quilometrada	57
Figura 42 – Desagregação Superficial	58
Figura 43 – Fendas Longitudinais e Ninhos	58
Figura 44 – Ondulações	58
Figura 45 – Pele de Crocodilo	58
Figura 46 – Ondulações	58
Figura 47 – Deformações Localizadas	58
Figura 48 – Desagregação Superficial	59
Figura 49 – Ninhos	59
Figura 50 – Zona não Pertencente ao Projeto	59
Figura 51 – Ninhos	59
Figura 52 – Pele de Crocodilo	60
Figura 53 – Pele de Crocodilo e Ninhos	60
Figura 54 – Fissuras Superficiais	60
Figura 55 – Malha Larga	60
Figura 56 – Pele de Crocodilo	60
Figura 57 – Desagregação Superficial	61
Figura 58 – Fendas Longitudinais	61
Figura 59 – Ninhos	61
Figura 60 – Pele de Crocodilo	61
Figura 61 – Pele de Crocodilo	62
Figura 62 – Ninhos	62
Figura 63 – Desagregação Superficial	62
Figura 64 – Fendas Longitudinais	62
Figura 65 – Fendas Longitudinais	62
Figura 66 – Pele de Crocodilo	62
Figura 67 – Deformações Localizadas	63
Figura 68 – Fendas Transversais	63
Figura 69 – Pele de Crocodilo	63
Figura 70 – Ninhos	63
Figura 71 – Rua de Cabeda Quilometrada	64
Figura 72 – Fissuras Superficiais	64
Figura 73 – Fissuras Superficiais	64
Figura 74 – Desagregação Superficial	65
Figura 75 – Pele de Crocodilo e Malha Larga	65
Figura 76 – Pele de Crocodilo e Desagregação Superficial	65
Figura 77 – Deformações Localizadas	65

Figura 78 – Rodeiras	66
Figura 79 – Deformações Localizadas	66
Figura 80 – Desagregação Superficial	66
Figura 81 – Pele de Crocodilo	66
Figura 82 – Pele de Crocodilo e Malha Larga	66
Figura 83 – Deformações Localizadas	66
Figura 84 – Rodeiras	67
Figura 85 – Malha Larga e Pele de Crocodilo	67
Figura 86 – Deformações Localizadas	67
Figura 87 – Ninhos	67
Figura 88 – Pele de Crocodilo	67
Figura 89 – Desagregação Superficial	67
Figura 90 – Fenda Transversal e Pele de Crocodilo	68
Figura 91 – Desagregação Superficial	68
Figura 92 – Desagregação Superficial	68
Figura 93 – Pele de Crocodilo	68
Figura 94 – Desagregação Superficial	69
Figura 95 – Pele de Crocodilo	69
Figura 96 – Deformações Localizadas	69
Figura 97 – Deformações Localizadas	69
Figura 98 – Pele de Crocodilo	69
Figura 99 – Desagregação Superficial	69
Figura 100 – Ninhos	70
Figura 101 – Deformações Localizadas	70
Figura 102 – Pele de Crocodilo	70
Figura 103 – Desagregação Superficial	70
Figura 104 – Pele de Crocodilo e Fendas Longitudinais	70
Figura 105 – Malha Larga	70
Figura 106 – Pele de Crocodilo	71
Figura 107 – Desagregação Superficial	71
Figura 108 – Ninhos e Pele de Crocodilo	71
Figura 109 – Ninhos	71
Figura 110 – Desagregação Superficial	72
Figura 111 – Pele de Crocodilo	72
Figura 112 – Rodeiras	72
Figura 113 – Subida de Finos	72
Figura 114 – Rua D. Pedro IV Quilometrada	72
Figura 115 – Ninhos	73
Figura 116 – Deformações Localizadas	73
Figura 117 – Rodeiras	73

Figura 119 – Pele de Crocodilo	74
Figura 120 – Desagregação Superficial	74
Figura 121 – Fendas Longitudinais e Rodeiras	74
Figura 122 – Ninhos	74
Figura 123 – Rodeiras	74
Figura 124 – Ninhos e Pele de Crocodilo	74
Figura 125 – Fissuras Superficiais	75
Figura 126 – Pele de Crocodilo	75
Figura 127 – Desagregação Superficial	75
Figura 128 – Desagregação Superficial	75
Figura 129 – Desagregação Superficial e Ninhos	76
Figura 130 – Pele de Crocodilo	76
Figura 131 – Desagregação Superficial e Pele de Crocodilo	76
Figura 132 – Fissuras Superficiais	76
Figura 133 – Ninhos	76
Figura 134 – Ninhos	77
Figura 135 – Fissuras Superficiais	77
Figura 136 – Pele de Crocodilo	77
Figura 137 – Pele de Crocodilo	77
Figura 138 – Ninhos	77
Figura 139 – Acumular de Água no Pavimento	78
Figura 140 – Acumular de Água no Pavimento	78
Figura 141 – Acumular de Água no Pavimento	78
Figura 142 – Acumular de Água no Pavimento	78
Figura 143 – Poças de Água	78
Figura 144 – Poças de Água	78
Figura 145 – Poças de Água	79
Figura 146 – Pressão Entre a Água e o Veículo	79
Figura 147 – Valeta Obstruída com Lixo	79
Figura 148 – Valeta Obstruída com Lixo	79
Figura 149 – Valeta Obstruída com Lixo	80
Figura 150 – Valeta Partida de um dos Lados	80
Figura 151 – Valeta Partida de um dos Lados	80
Figura 152 – Incapacidade da Valeta Drenar	80
Figura 153 – Incapacidade da Valeta Drenar	80
Figura 154 – Gerador	81
Figura 155 – Boca para Retirar Carotes	82
Figura 156 – Caroteadora	82
Figura 157 – Bomba de Água	82
Figura 158 – Perfuração do Pavimento	82

Figura 159 – Preenchimento da Concavidade Deixada pela Carote	83
Figura 160 – Fragmentação do Topo da Sub-base	84
Figura 161 – Localização das Carotes Retiradas na Rua de Vilar	84
Figura 162 – 1ª Carote	85
Figura 163 – Concavidade Deixada pela 1ª Carote	85
Figura 164 – 2ª Carote	85
Figura 165 – Concavidade da 2ª Carote	85
Figura 166 – Localização das Carotes Retiradas na Rua de Cabeda	86
Figura 167 – 3ª Carote	86
Figura 168 – Concavidade da 3ª Carote	86
Figura 169 – 4ª Carote e Respetiva Concavidade	86
Figura 170 – Localização das Carotes Retiradas na Rua D. Pedro IV	87
Figura 171 – 5ª Carote e Respetiva Concavidade	87
Figura 172 – Varão de Ferro Colocado na Zona da Rodeira	88
Figura 173 – Medição de uma Rodeira	89
Figura 174 – Localização das Rodeiras Medidas na Rua de Vilar	89
Figura 175 – Localização das Rodeiras Medidas na Rua de Cabeda	90
Figura 176 – Localização das Rodeiras Medidas na Rua D. Pedro IV	90
Figura 177 – Localização dos Pontos de Medição na Rua de Vilar	91
Figura 178 – Localização dos Pontos de Medição na Rua de Cabeda	92
Figura 179 – Localização dos Pontos de Medição na Rua de D. Pedro IV	92
Figura 180 – Distribuição do Tráfego Médio Diário de Pesados	98
Figura 181 – Gráfico de Distribuição do Tráfego Médio Diário em Vilar 1º Sentido	101
Figura 182 – Gráfico de Distribuição do Tráfego Médio Diário em Vilar 2º Sentido	102
Figura 183 – Gráfico de Distribuição do Tráfego Médio Diário em Cabeda 1º Sentido	102
Figura 184 – Gráfico de Distribuição do Tráfego Médio Diário em Cabeda 2º Sentido	102
Figura 185 – Ábaco das Temperaturas de Serviço nas Camadas Betuminosas	111
Figura 186 – Resultados do Alize para 80 kN	117
Figura 187 – Resultados do Alize para 130 kN	117
Figura 188 – Resultados do Alize para 80 kN com MBAM	120
Figura 189 – Resultados do Alize para 130 kN com MBAM	121
Figura 190 – Resultados do Alize para o Reajuste com MBAM em 80 kN	121
Figura 191 – Resultados do Alize para o Reajuste com MBAM em 130 kN	122
Figura 192 – Resultados do Alize para ABGEC em 80 kN	123
Figura 193 – Resultados do Alize para ABGEC em 130 kN	123
Figura 194 – Resultados do Alize para Pavimento Económico em 80 kN	127
Figura 195 – Resultados do Alize para Pavimento Económico em 130 kN	127
Figura 196 – Resultados do Alize para Pavimento Económico Corrigido em 80 kN	127
Figura 197 – Resultados do Alize para Pavimento Económico Corrigido em 130 kN	128
Figura 198 – Rede de Arame em Losango Galvanizado	129

Figura 199 – Resultados do Alize para Pavimento Económico Corrigido Ajustado em 80 kN	129
Figura 200 – Esquema Geral do Pavimento para a Solução de Curto Prazo	130
Figura 201 – Esquema dos Rodados dos Veículos Pesados Numa Faixa do Pavimento	131
Figura 202 – Passeio Novo	132
Figura 203 – Linhas de Água e Ponto de Cota Mais Alta	135
Figura 204 – Esquema do Escoamento da Água a Partir do Ponto de Cota Mais Alto	135
Figura 205 – Linhas de Água e Correspondentes Bacias Hidrográficas	136
Figura 206 – Exemplo de uma Linha de Água não Representada na Carta Militar	136
Figura 207 – Linhas de Água e Respetivas Bacias Hidrográficas não Representada na Carta Militar	137
Figura 208 – Bacias Hidrográficas	137
Figura 209 – Valores dos Coeficientes a e b	138
Figura 210 – Secção Retangular	139
Figura 211 – Inclinação Média da Linha de Água	141
Figura 212 – Esquema das Sargetas e das Valetas de uma Via	143
Figura 213 – Esquema da Drenagem Transversal para os Órgãos de Drenagem Longitudinal	144
Figura 214 – Colocação das Valetas	144
Figura 215 – Valeta Tipo Considerada	145
Figura 216 – Largura de Influência para a Valeta Considerada	145
Figura 217 – Esquema de uma Valeta com 0,9 m de Largura	146
Figura 218 – Esquema de Drenagem nas Sargetas	150

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Extensões de Estradas Construídas com Pavimentos Aperfeiçoados Entre 1927 1935 (Fonte Lima Maré, 2011)	21
Tabela 2 - Deformabilidades dos Pavimentos (Fonte: Branco et al.,2006)	26
Tabela 3 - Tipos de betume de Pavimentação, Propriedades e Exigências de Conformidade (LNEC, 1997)	33
Tabela 4 - Principais Tipos de Misturas Betuminosas a Quente Aplicadas em Portugal Enquadradas nas Normas Europeias de Produto (CEPSA, 2007).....	34
Tabela 5 - Especificações para Agregados a Aplicar em Camadas não Ligadas (CEPSA, 2007)	36
Tabela 6 – Requisitos Granulométricos para Misturas de Agregados a Aplicar em Camadas Não Ligadas (CEPSA, 2007)	36
Tabela 7 - Especificações para Fileres a Aplicar em Misturas Betuminosas a Quente (CEPSA, 2007).....	37
Tabela 8 - Requisitos Granulométricos dos Fileres para Misturas Betuminosas a Quente (CEPSA, 2007).....	37
Tabela 9 – Fuso Granulométrico para Sub-base ou Base em ABGE (Branco et al., 2006).....	38
Tabela 10 - Relação Causa-Efeito das Patologias (Branco et al., 2006)	46
Tabela 11 – Inventário dos Serviços Afetados	56
Tabela 12 – Espessuras da Camada Betuminosa e Sub-base das Carotes	87
Tabela 13 – Resultado das Medições das Rodeiras	91
Tabela 14 – Larguras da Faixa de Rodagem.....	93
Tabela 15 – Tráfego Rua de Vilar das 7h às 9h.....	95
Tabela 16 – Tráfego Rua de Vilar das 17h às 19h.....	96
Tabela 17 – Tráfego de Cabeda das 7h às 9h	97
Tabela 18 – Tráfego de Cabeda das 17h às 19h.....	98
Tabela 19 – Distribuição do Tráfego Diário Vilar 1º Sentido.....	99
Tabela 20 – Distribuição do Tráfego Diário Vilar 2º Sentido.....	100
Tabela 21 – Distribuição do Tráfego Diário Cabeda 1º Sentido	100
Tabela 22 – Distribuição do Tráfego Diário 2º Sentido.....	101
Tabela 23 – Distribuição das Cargas pelas Respetivas Subcategorias (EP-Estradas de Portugal, SA).....	103
Tabela 24 – Distribuição das Cargas Vilar 1º Sentido.....	103
Tabela 25 - Fatores de Agressividade e Taxas de Crescimento em Função da Classificação do Tráfego (MACOPAV, 1995).....	104
Tabela 26 – Valor da Carga Anual por Subcategorias em Toneladas para Vilar 1º Sentido	105
Tabela 27 – Valor da Carga Anual por Eixos em Toneladas para Vilar 1º Sentido	105
Tabela 28 - Distribuição das Cargas Vilar 2º Sentido.....	106
Tabela 29 - Valor da Carga Anual por Subcategorias em Toneladas para Vilar 2º Sentido.....	106
Tabela 30 - Valor da Carga Anual por Eixos em Toneladas para Vilar 2º Sentido.....	107
Tabela 31 - Distribuição das Cargas Cabeda 1º Sentido.....	107
Tabela 32 - Valor da Carga Anual por Subcategorias em Toneladas para Cabeda 1º Sentido ..	107
Tabela 33 - Valor da Carga Anual por Eixos em Toneladas para Cabeda 1º Sentido	108
Tabela 34 - Distribuição das Cargas Cabeda 2º Sentido.....	108
Tabela 35 - Valor da Carga Anual por Subcategorias em Toneladas para Cabeda 2º Sentido ..	108

Tabela 36 - Valor da Carga Anual por Eixos em Toneladas para Cabeda 2º Sentido	109
Tabela 37 – Temperatuas Médias Mensais do triénio entre 1950 e 1980	110
Tabela 38 – Cálculo do Fator de Ponderação Médio	110
Tabela 39 – Temperaturas de Serviço nas Novas Camadas Betuminosas Previstas	111
Tabela 40 – Características das Novas Camadas do Pavimento a Definir	113
Tabela 41 – Cálculo do Módulo de Deformabilidade das Camadas Betuminosas	116
Tabela 42 – Valores do Módulo de Deformabilidade das Respetivas Camadas	117
Tabela 43 – Características de Pressão dos Eixos 80KN e 130 KN.....	117
Tabela 44 - Extensões Admissíveis Vilar 2º Sentido	119
Tabela 45 – Verificação das Extensões no Pavimento para Solução de Longo Prazo	119
Tabela 46 – Cálculo das Extensões Admissíveis para Mistura Betuminosa de Alto Módulo ...	120
Tabela 47 – Verificação das extensões no pavimento na solução de longo prazo com MBAM	121
Tabela 48 – Verificação das Extensões no Pavimento na Solução de Longo Prazo com MBAM com Reajuste das Espessuras	122
Tabela 49 – Requisitos dos Agregados de Granulometria Extensa Tratados com Cimento Aplicados em Camadas de Base e de Sub-base (CEPSA, 2007).	122
Tabela 50 – Verificação das Extensões no Pavimento na Solução de Longo Prazo com ABGEC	123
Tabela 51 – Distribuição do Tráfego para T=10 anos	124
Tabela 52 – Cálculo no N° Equivalente de 80kN e 130kN para T=10 anos	124
Tabela 53 – Características das Camadas do Pavimento de Solução de Médio Prazo	125
Tabela 54 – Cálculo do Módulo de Deformabilidade das Camadas Betuminosas na Solução de Médio Prazo.....	126
Tabela 55 – Cálculo das Extensões Admissíveis na Solução de Médio Prazo.....	126
Tabela 56 – Verificação das Extensões na Solução de Médio Prazo	127
Tabela 57 – Extensões Admissíveis para T=8, g=9	128
Tabela 58 – Extensões Admissíveis para T=7, g=8.....	128
Tabela 59 – Verificação das Extensões na Solução de Médio Prazo para 7 anos	129
Tabela 60 – Característica das Bacias Hidrográficas.....	140
Tabela 61 – Coeficientes de Escoamento (Portela, 2012).....	140
Tabela 62 – Cálculo das Secções das Passagens Hidráulicas	141
Tabela 63 – Comparação das Passagens Hidráulicas Existentes com as Calculadas	142
Tabela 64 – Características dos Constituintes para a Drenagem Longitudinal	146
Tabela 65 – Caudais de Vazão para a Valeta 0,9 m.....	147
Tabela 66 – Características da Valeta 0,6 m.....	147
Tabela 67 – Caudais da Valeta 0,6 m	147
Tabela 68 – Características da Valeta 0,75 m.....	148
Tabela 69 – Caudais da Valeta 0,75 m	148
Tabela 70 – Características da Sargeta Φ 200	149
Tabela 71 – Caudais da Sargeta Φ 200.....	149
Tabela 72 - Características da Sargeta Φ 150.....	150
Tabela 73 - Caudais da Sargeta Φ 150.....	150
Tabela 74 – Mapa de Trabalhos com Estimativa Orçamental da Solução de Longo Prazo em MBAM.....	152

Tabela 75 – Mapa de Quantidades com Estimativa Orçamental da Solução de Longo Prazo em ABGEC	154
Tabela 76 – Mapa de Quantidades com Estimativa Orçamental da Solução de Médio Prazo ..	156
Tabela 77 – Mapa de Quantidades com Estimativa Orçamental da Solução de Curto Prazo	158
Tabela 78 – Valores Globais da Execução da Obra Para Cada Solução	159

Simbologia

CBR - California Bearing Ratio

VAS - Valor de azul de metileno de um agregado ou de um solo

VASc – Valor de azul de metileno corrigido

T – Tempo de vida útil do pavimento

SL – Sobrelargura

E – Módulo de deformabilidade

ν - Coeficiente de Poisson

1º Sentido – Definido como a direção de Valongo para Alfena (Rua D. Pedro IV para Rua de Vilar)

2º Sentido – Definido como a direção de Alfena para Valongo (Rua de Vilar para Rua D. Pedro IV)

Φ - Diâmetro

L – Largura

A – Área

N – Número de passagens por eixo

T - Período de vida útil

Wfator – Fator de ponderação mensal

Q – Caudal

C – Coeficiente de escoamento

I – Intensidade de precipitação

t_c – Tempo de concentração

J – Declive médio da linha de água principal

Ks – Coeficiente de rugosidade de Manning-Strickler

Rh – Raio hidráulico

S – Área da secção

S_m – Área da secção molhada

P_m – Perímetro da secção molhada

V_v – Volume de vazios

V_b – Volume de betume

T_c – Tempo de carregamento

V_{bp} – Velocidade base de veículos pesados

PEN 25 – Penetração a 25°C de um betume asfáltico

PEN 25r – PEN25 em serviço

IPEN – Índice de penetração do betume

Sb – Rigidez do betume

TAB – Temperatura anel e bola

TABr – TAB em serviço

Ts – Temperatura de serviço

Emb – Módulo de deformabilidade em misturas betuminosas

Ef – Módulo de deformabilidade da sub-base

Es – Módulo de deformabilidade do solo de fundação

ϵ_{tAdm} – Extensão de tração admissível

ϵ_{vAdm} – Extensão vertical admissível

Abreviaturas

JAE – Junta Autónoma de Estradas

SEA - Secção das Estradas e Aeródromos

IEP – Instituto de Estradas de Portugal

ICOP – Instituto para a Construção Rodoviária

ICERR – Instituto para a Conservação da Rede Rodoviária

PRN – Plano Rodoviário Nacional

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

CICCOPN – Centro de Formação Profissional da Indústria da Construção Civil e Obras Públicas do Norte

FMI – Fundo Monetário Internacional

CEE – Comunidade Económica Europeia

EU – União Europeia

EP – Estradas de Portugal

EM – Estradas Municipais

CM – Caminhos Municipais

IP – Itinerário Principal

IC – Itinerário Complementar

ASTM – American Society for Testing and Materials

WAS – Western Association of State

AASHO - American Association of State Highways Officials

CEJAE - Cadernos de Encargos da Junta Autónoma de Estradas

RGEU - Regulamento Geral das Edificações Urbanas

MACOPAV – Manual de Conceção de Pavimentos

ABGE – Agregado Britado de Granulometria Extensa

MBAM – Macadame Betuminoso de Alto Módulo

ABGEC – Agregado Britado de Granulometria Extensa Tratado com Cimento

ECR – Emulsão Catiónica Rápida

PH – Passagem Hidráulica

TMDAp – Tráfego Médio Diário Anual de Ponderada

TMMAar – Temperatura Média Mensal Anual do ar

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A rede rodoviária é a infraestrutura de transportes mais importante para o desenvolvimento global de um país. Esta é constituída por um grande conjunto de eixos e vias de menor importância, que estabelecem as ligações com as outras redes de transporte (férica, aérea, fluvial e marítima), fazendo a interface entre elas e as próprias habitações. Assim, permitem o acesso barato e rápido de homens e mercadorias aos pontos mais remotos do país, declarando-se de utilidade indiscutível para a sociedade e economia, em qualquer período da história, onde o deslocamento por via rodoviária se transformou no principal meio de transporte a curtas e médias distâncias no mundo.

Em Portugal, a rede rodoviária representa a principal infraestrutura de transportes de pessoas e mercadorias, apresentando-se como um elemento fundamental ao desenvolvimento sócio-económico do país, que detém atualmente uma das redes viárias mais desenvolvidas da Europa. A rede rodoviária nacional tem vindo a sofrer um crescimento da intensidade do tráfego que solicita, sendo principalmente constituída por pavimentos flexíveis, em que o seu comportamento é altamente dependente do funcionamento das misturas betuminosas e dos materiais granulares com o constituem.

Os pavimentos rodoviários, logo após a sua construção e entrada em serviço, ficam sujeitos a ações de degradação que reduzem, desde logo, a sua qualidade inicial. Esta redução de qualidade é progressiva e, com o tempo, se não houver qualquer tipo de intervenção, conduzirá ao estado de ruína (circulação muito condicionada). Desta forma, para evitar que os pavimentos atinjam situações tão críticas, nascem dois conceitos - conservação e reabilitação - que procuram conferir durabilidade e qualidade ao pavimento rodoviário com o passar do tempo.

Em Portugal, o crescimento da Rede Rodoviária que ocorreu nos últimos anos aumentou muito a qualidade de vida dos portugueses. Hoje, os investimentos da construção de novas vias de comunicação estão a dar lugar a um crescimento nas áreas de conservação e reabilitação de pavimentos rodoviários. Isto acontece pois as estradas necessárias ao desenvolvimento do país já foram construídas e agora aponta-se para a sua manutenção. Com isto, e pelo facto de ser inevitável uma intervenção futura nos pavimentos rodoviários em Portugal, crê-se um grande crescimento e desenvolvimento da área da conservação e reabilitação.

As atividades de conservação e reabilitação de pavimentos são fundamentais para preservar um património valioso e manter um nível de serviço que ofereça boas condições de circulação, com segurança, conforto e que seja economicamente acessível a qualquer classe social.

O presente trabalho insere-se na unidade curricular de DIPRE – Dissertação, Projeto ou Estágio, no 2º ano do Mestrado de Engenharia Civil, ramo de Infraestruturas e Ambiente, designadamente na condição de projeto.

Este projeto consiste na realização de um estudo detalhado de reabilitação de um pavimento pertencente a um troço da Estrada Municipal 607, situada no concelho de Valongo, distrito do Porto. O pavimento alvo é abrangido por três ruas pertencentes à EM 607, Rua de Vilar, Rua de Cabeda e Rua D. Pedro IV, com uma extensão total de 4,8 km. A importância deste pavimento caracteriza-se por ser a principal via de comunicação entre a Freguesia de Alfena e o centro do município de Valongo, sendo também um forte meio de deslocação por parte de residentes de outras localidades para aceder à cidade de Valongo.

1.2. Objetivos

Pretende-se, com este trabalho, que o aluno aplique os conhecimentos adquiridos no seu trajeto académico, desenvolvendo um estudo pormenorizado e apresente soluções de reabilitação e dimensionamento de pavimentos num caso prático. Pretende-se igualmente que o aluno desenvolva competências com determinados programas como *AutoCad* e *Alize* e elabore um documento com memória descritiva e justificativa, mapa de quantidades, estimativa orçamental e peças desenhadas.

Contudo, à parte das exigências académicas, este trabalho pretende contribuir com soluções práticas e exequíveis para que a Câmara Municipal de Valongo possa resolver as limitações atuais apresentadas pela EM 607 face às suas dificuldades financeiras.

1.3. Metodologia

Os métodos utilizados ao longo do desenvolvimento do trabalho foram baseados nos métodos de dimensionamento da Shell, por ser uma metodologia bem desenvolvida e comprovada, com resultados bastante credíveis, e no manual da CEPSA para seleção de misturas betuminosas. Foi utilizado como programa de cálculo automático o programa *Alize* no cálculo das extensões atuantes no pavimento. Por último, foi utilizado o *AutoCad* como programa de desenho para peças desenhadas em planta e perfis transversais, e o *AutoCad Civil 3D*, para elaboração do perfil longitudinal do pavimento.

À face das metodologias de dimensionamento foram realizados trabalhos de campo, sendo retiradas carotes para análise das camadas, medidas as rodeiras para análise superficial do pavimento e medidas as larguras das faixas de rodagens em vários pontos.

1.4. Estrutura

Este trabalho apresenta no total 11 capítulos, com subcapítulos dentro de cada capítulo. O primeiro capítulo diz respeito à introdução do trabalho. Os restantes capítulos podem ser agrupados em cinco partes.

A primeira parte (capítulos 2 e 3) refere-se a um desenvolvimento teórico, onde se faz uma abordagem histórica sobre a evolução dos pavimentos até aos tempos modernos, referindo também os tipos de pavimentos, métodos de dimensionamentos e tipo de patologias que estes estão atualmente sujeitos.

A segunda parte (capítulos 4 e 5) está relacionada com o estudo e caracterização do atual estado do pavimento, referindo o nível de degradação e patologias existentes, assim como o tráfego médio anual de pesados suportado pelo pavimento.

A terceira parte (capítulos 6 e 7) apresenta as soluções de reabilitação propostas e o seu dimensionamento. No total são apresentadas três soluções possíveis para três situações distintas. A primeira solução é caracterizada como de longo prazo, com remoção total do pavimento e colocação de uma estrutura completamente nova com um período de vida útil estimado em 20 anos, contudo, das três é a mais dispendiosa. A segunda solução é para um período de vida útil de 8 anos, sendo caracterizada como de médio prazo. Esta solução consiste na remoção total das camadas betuminosas, mas com um aproveitamento da camada de sub-base, apresentando duas camadas betuminosas. A última solução é a mais desvantajosa em termos de durabilidade do pavimento mas é também a mais económica. Caracteriza-se como solução de curto prazo e consiste na remoção parcial de uma largura da faixa de rodagem mais esforçada, aproveitando a restante. A largura de pavimento a remover será na zona dos rodados onde será colocado uma estrutura de pavimento novo de duas camadas betuminosas dimensionado na solução de médio prazo. O período de vida útil desta solução estima-se em 5 anos. Ainda referente à terceira parte, é feito o dimensionamento da drenagem longitudinal e transversal e caracterização das linhas de águas e respetivas bacias hidrográficas.

Relativamente à quarta parte (capítulo 8), esta apresenta os mapas de quantidades para as três soluções e respetiva estimativa orçamental.

Por último, a quinta parte (capítulo 9) são os anexos que contêm as peças desenhadas como o perfil longitudinal do pavimento separado em troços de 1200 metros, plantas do traçado sobre imagem aérea, planta das bacias hidrográficas e os perfis transversais das três soluções apresentadas.

A finalizar são apresentadas as conclusões do trabalho e a bibliografia das pesquisas e manuais consultados.

Projeto de Reabilitação da EM 607 no Concelho de Valongo

É ainda importante salientar a colaboração da Câmara Municipal de Valongo, que permitiu o acesso aos projetos anteriores, forneceu a planta e a carta militar referente ao pavimento em causa e disponibilizou funcionários para ajudar nos trabalhos de campo.

2. Referências Históricas

2.1. *Desenvolvimento dos Transportes*

Durante milénios, a deslocação e o transporte de bens materiais foi feita pelo Homem com recurso exclusivo aos seus próprios meios físicos. Mais tarde começou a utilizar animais como meio de carga, onde conseqüentemente, também o utilizava para o seu próprio deslocamento. Posteriormente inventou a roda que permitiu o aparecimento das carroças. No século XVIII deu-se a invenção da máquina a vapor e, com isso, os primeiros meios mecânicos de transporte quer ferroviários, quer marítimos. Assim, e durante cerca de um século, a ferrovia cresceu dominando como o principal meio de transporte em massa. No início do século XX apareceram os primeiros veículos motorizados terrestres e cerca de 20 anos depois deu-se o aparecimento dos transportes aéreos.

2.2. *Primeiros Caminhos*

Inicialmente, os trilhos foram os meios usados pelos pré-históricos no seu deslocamento resultando de passagens sucessivas no mesmo local, impedindo o desenvolvimento do meio natural, deixando apenas passagens de terra. Aqui, os deslocamentos pelos povos daquele tempo eram pequenos e com recurso aos seus próprios meios físicos. Com o desenvolvimento do Homem e dos meios utilizados, houve a necessidade de melhorar aqueles que são os primeiros caminhos existentes da história da humanidade.

Pesquisas arqueológicas mostram que as primeiras estradas foram construídas a partir dos trilhos usados pelos povos pré-históricos na zona do mar Negro, Cáspio, Mediterrâneo e golfo Pérsico, pela necessidade de melhorar os caminhos usados pelas pessoas em migração, cujo percurso era difícil para os seus animais. Na construção destas primeiras estradas o terreno foi nivelado, as cavidades e reentrâncias foram preenchidas e a terra retirada dos bordos, formando valas laterais para que acontecesse a drenagem. Este começo da construção rodoviária coincidiu com o surgimento dos primeiros veículos de rodas.

2.3. *Egito*

O Egito foi uma das maiores civilizações da Antiguidade surgindo a partir de aldeamentos agrícolas no vale do rio Nilo. Foi aqui que surgiram as primeiras estradas, em cerca de 2 500 a.C, com a construção das grandes pirâmides. A necessidade da sua construção não se reflete à circulação de veículos com rodas, mas sim para pesados trenós destinados a transportar cargas elevadas, essenciais para o transporte de grandes blocos de pedras. Estas estradas foram construídas com lajões justapostos em base com boa capacidade de suporte. O atrito entre o trenó e o pavimento era suavizado com umedecimento constante (água, azeite, musgo).

2.4. *Asia*

Uma das estradas mais antigas e talvez a primeira estrada a ser usada na circulação de veículos com rodas é a famosa Estrada Real Persa. Esta estrada foi construída pelo rei persa Dario I no século 5 a.C. A sua construção teve como finalidade proporcionar uma rápida comunicação por todo o grande império do rei Dario I, fazendo com que os seus mensageiros percorressem 2.699 km em apenas 7 dias. À cerca desta estrada, o historiador grego Heródoto disse, “Não há nada no mundo que viaje mais rápido que esses mensageiros persas. Nem a neve, nem a chuva, nem o calor e nem a escuridão da noite impedem que realizem a tarefa proposta a eles com a máxima velocidade”. A Estrada Real Persa ligava as civilizações da Mesopotâmia e do Egito e estendia-se do golfo Pérsico ao mar Egeu, que unia a Pérsia à Turquia, Grécia e Egito.

Existem referências históricas de estradas construídas na antiguidade, bem como velhos caminhos identificados apenas como itinerários na Índia e na China. Nestes caminhos encontra-se a Rota da Seda, uma das mais antigas e importantes rotas, devido à grande influência nas culturas da Ásia e do Ocidente, que permitia a ligação do Oriente com o Ocidente por razões comerciais.



Figura 1 - Rota da Seda (Fonte: Na Rota da Sede, 2014)

2.5. *Romanos*

Foi no período da romanização que o conceito moderno de estrada, com planeamento e construção se fez notar. O velho ditado popular, “Todos os caminhos vão dar a Roma” realça a grande importância e grandiosidade desta grande rede viária. Antes da expansão do império romano, o tráfego por terra era difícil e perigoso e muitas vezes inacessível, dado que as estradas eram poeirentas na estação seca e lamacentas em épocas chuvosas. Assim, as estradas existentes eram apenas utilizados em deslocações da capital até as cidades vizinhas, sendo o mar e os rios as grandes vias de comunicação usadas.

Em 390 a.C., o ataque Gaulês de Breno mostrou a ineficácia defensiva de Roma, principalmente porque a movimentação das tropas eram lentas e dificultadas por caminhos pouco aptos.

Devido a um grande interesse militar e um forte desejo de expansão, a República Romana decidiu construir uma rede viária que se adaptasse às suas necessidades. Esta acabou por aproximar os povos, sendo a principal responsável pelo crescimento do comércio prestando grandes serviços à civilização. Estas novas estradas permitiam uma circulação mais rápida e segura, facilitando as manobras das tropas e a circulação das mercadorias e dos comerciantes.

A primeira via foi criada em 312 a.C. por Ápio Cláudio Cego, que uniu Roma a Cápua numa distância de 300 km designando-se por “*Via Ápia*” (em memória a Ápio Cláudio Cego, responsável pela sua construção). Posteriormente foi amplificada, passando por Benavento, Taranto até Brindisi, principal ponto de ligação marítimo com as províncias orientais, numa extensão de 600 km. A importância económica para o império romano desta via era tão grande que ficou a ser conhecida por “*Regina Viarum*”, a rainha das estradas. A sua construção durou perto de 120 anos e em certos troços apresentava larguras que chegavam aos 10 metros, mas o comum era cerca de 4 metros.



Figura 2 - Via Ápia (Fonte: Wikipedia, 2014)

A construção de estradas iniciou-se durante a República Romana mas cresceu extraordinariamente durante o Império Romano tendo atingido no seu apogeu cerca de 150 km de estrada. No início, o sistema viário foi criado para fins políticos mantendo o controlo sobre as zonas conquistadas.

Ao contrário das outras civilizações mediterrâneas, que fundaram o seu desenvolvimento comercial baseado unicamente a partir dos seus pontos, os romanos utilizaram a sua rede de estradas em paralelo com a sua frota comercial, favorecendo os intercâmbios no interior continental, que resultou numa expansão mercantil fulgurante. Regiões inteiras comercializavam entre vinhos, azeite, cereais, cerâmicas, carnes, entre outros produtos, o que fez a economia romana atingir valores que fizeram desta civilização numa das mais poderosas do mundo.

As estradas romanas foram cuidadosamente projetadas para serem sólidas, úteis e agradáveis. A principal importância eram as suas ligações entre pontos com curtos trajetos, de forma fácil e rápida, o que fez com que houvesse muitos e extensos trechos em linha reta. Quando possível, em regiões íngremes e montanhosas, as estradas eram construídas na horizontal, no lado da montanha abrangida pelo sol, de forma a minimizar as inconveniências causadas pelos maus tempos.

A construção das estradas baseava-se em técnicas de outros povos como os cartagineses, os fenícios e os egípcios. Primeiro definiam o trajeto da estrada conferida pelos topógrafos da época. As escavações e sua construção eram feitas em tempos de paz, por legionários, e em tempos de guerra, por escravos e presos, que escavavam duas valas paralelas com distâncias mínimas de dois metros e meio. Normalmente eram de quatro metros, onde nas curvas, as distâncias eram ainda maiores. A largura da estrada podia chegar até aos 10 metros incluindo as passagens para os pedestres nos dois lados. Eram feitas escavações até se obter uma base sólida e o espaço vazio era preenchido com três ou quatro camadas de diferentes materiais. A primeira camada conhecida como “*statumen*”, podia ser constituída por grandes pedras com 30 a 60 centímetros de espessura ou por entulho, sendo a parte mais importante das obras, visto o futuro da via estar dependente dela. Sobre a primeira camada colocava-se uma camada de 20 centímetros de areia e gravilha, conhecida como “*rudus*” e por cima mais uma camada de 20 centímetros de pedra triturada misturada com cal designada por “*nucleus*”. Por fim, a camada superficial “*sumus crustae*” ou “*stratum*” era constituída por lajes talhadas e ajustadas de granito ou basalto, normalmente extraídas de rochas encontradas nas localidades próximas, obtendo-se um pavimento uniforme e liso com bermas delineadas. A superfície era abaulada ou convexa, sendo ligeiramente mais alta no centro para facilitar o escoamento pluvial para as sargetas laterais e as limitações da via eram assinaladas com muretes laterais. Ao longo da via foram colocados marcos miliários que marcavam a distância percorrida de 1000 pés (1478 metros), contendo diversos tipos de informações como o nome do imperador que havia autorizado a construção, a data do início da construção ou o nome dos construtores, distâncias entre a sua localização às cidades mais próximas e na base estava inscrito o número da milha relativa à estrada em questão.

Nas estradas romanas havia diferentes distinções de acordo com as suas importâncias. As “*viae publicae*” (vias públicas) eram as mais importantes, fazendo a ligação entre as principais cidades. As “*viae vicinales*” eram vias secundárias que faziam as ligações entre as povoações e as “*viae publicae*”. Havia também as “*viae privatae*” (vias privadas) que faziam a união às principais propriedades.

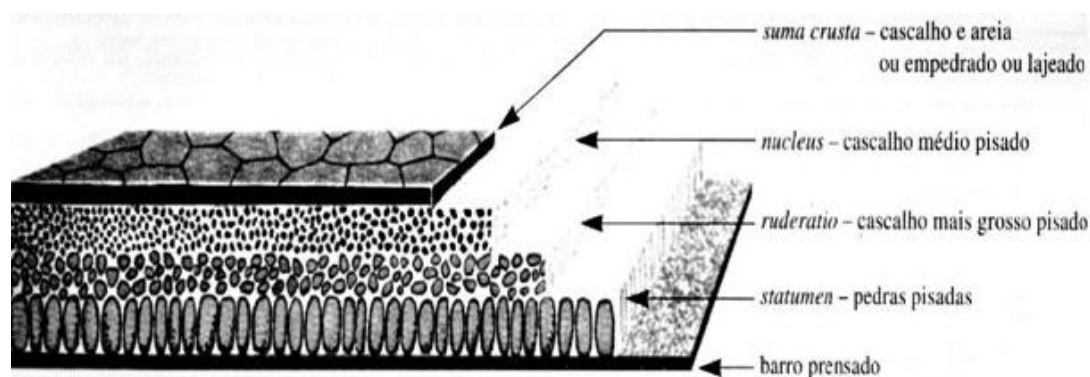


Figura 3 - Constituição do Pavimento Romano (ebah, 2014)

As vias romanas inicialmente pensadas para fins militares, foram as responsáveis da grande expansão económica vivida pelos romanos. Mas, se por um lado facilitaram a saída e a movimentação das tropas romanas, por outro também favoreciam os seus inimigos, facilitando grandes invasões que ditaram o fim do Império.

Nos finais da República o território romano estava enriquecido com grandes estradas, cada uma com o nome do imperador que a originou. Com o tempo o uso destas estradas foi diminuindo, ficando toda a rede segmentada por rotas mais curtas. A rede foi evoluindo de forma natural e sem planeamento à medida que surgiram novos focos populacionais, perdurando pela idade média com sucessivos restauros. A expansão e funcionalidade desta rede de estradas persistiu muito para além do fim do Império, conservando-se ainda hoje e protegida como património mundial.

2.6. Incas

O período de decadência do sistema rodoviário das antigas civilizações mediterrâneas e asiáticas coincidiu com o surgimento e auge do império Inca. Estes mostraram ser notáveis construtores de estradas, construindo um extraordinário sistema de estradas que fazia a ligação do centro do Equador até à região central do Chile e ao sul e da costa do Oceano Pacífico até às encostas orientais dos Andes. No apogeu do império, o sistema rodoviário atendia a uma área de quase dois milhões de quilómetros quadrados, onde viviam perto de dez milhões de pessoas. Parte desses caminhos ainda hoje são utilizados. O cientista e viajante alemão Alexander Von Humboldt, que realizou expedições científicas por várias partes da América do Sul, quantifica as estradas incas como “os mais úteis e estupendos trabalhos realizados pelo homem”.

Na rota dos andes a estrada tem 7,5 m de largura, cruzando os mais altos pontos com cortes e rampas suaves. Continha galerias cortadas na rocha compacta e muros de contenção de dezenas de metros que servia de apoio à estrada. Os abismos e os desfiladeiros eram vencidos com construções sólidas de pedra e alvenaria. A superfície era de pedra na maior parte da estrada, com o uso de materiais asfálticos. O tráfego era feito por animais de carga e por pessoas a pé, visto que os incas não conheciam a roda.

2.7. *Portugal*

Em Portugal, na Idade Média, as estradas eram poucas, em terra batida e estreitas, sendo ladrilhadas ou calcetadas nos centros mais importantes. Até à segunda metade do século XVIII as deslocações faziam-se a pé, com recurso aos animais ou por via fluvial. Foi nesta altura que entrou em serviço a mala-posta, feita para o transporte de pessoas e do correio, constituída numa carruagem puxada por duas parelhas de cavalos.



Figura 4 – Mala-Posta (Fonte: Espaço e Memória, 2014)

Em 1780, com D. Maria I, deu-se início à construção de pontes e estradas de Lisboa a Coimbra e na área do Douro. Já em 1788 a Rainha ordenou a construção de estradas no Alto Douro, que juntamente com o transporte fluvial facilitou a comercialização dos produtos agrícolas. Em 1791 iniciou-se a construção de uma estrada de Lisboa ao Porto. No entanto esse trajeto era de todo impossível por falta de uma ponte sobre o Rio Trancão em Sacavém, ficando concluída em 1843 no governo de Costa Cabral.

No início do século XIX, a rede de estradas era muito restrita em termos de cobertura territorial e sem orientação global, com as estradas e as calçadas a terem pouco mais de uma milha de extensão. A Carta Militar das Principais Estradas de Portugal de 1808 apresenta uma rede viária relativamente densa e de pouca qualidade, que cobre de forma homogénea o território português. Estas conclusões podem ser confirmadas quando olhamos para os tempos de viagens que, por exemplo, a viagem do correio expresso entre Lisboa e o Porto demora três dias e os habitantes do litoral praticamente desconheciam o interior. A Carta Militar pode ser observada na seguinte figura.

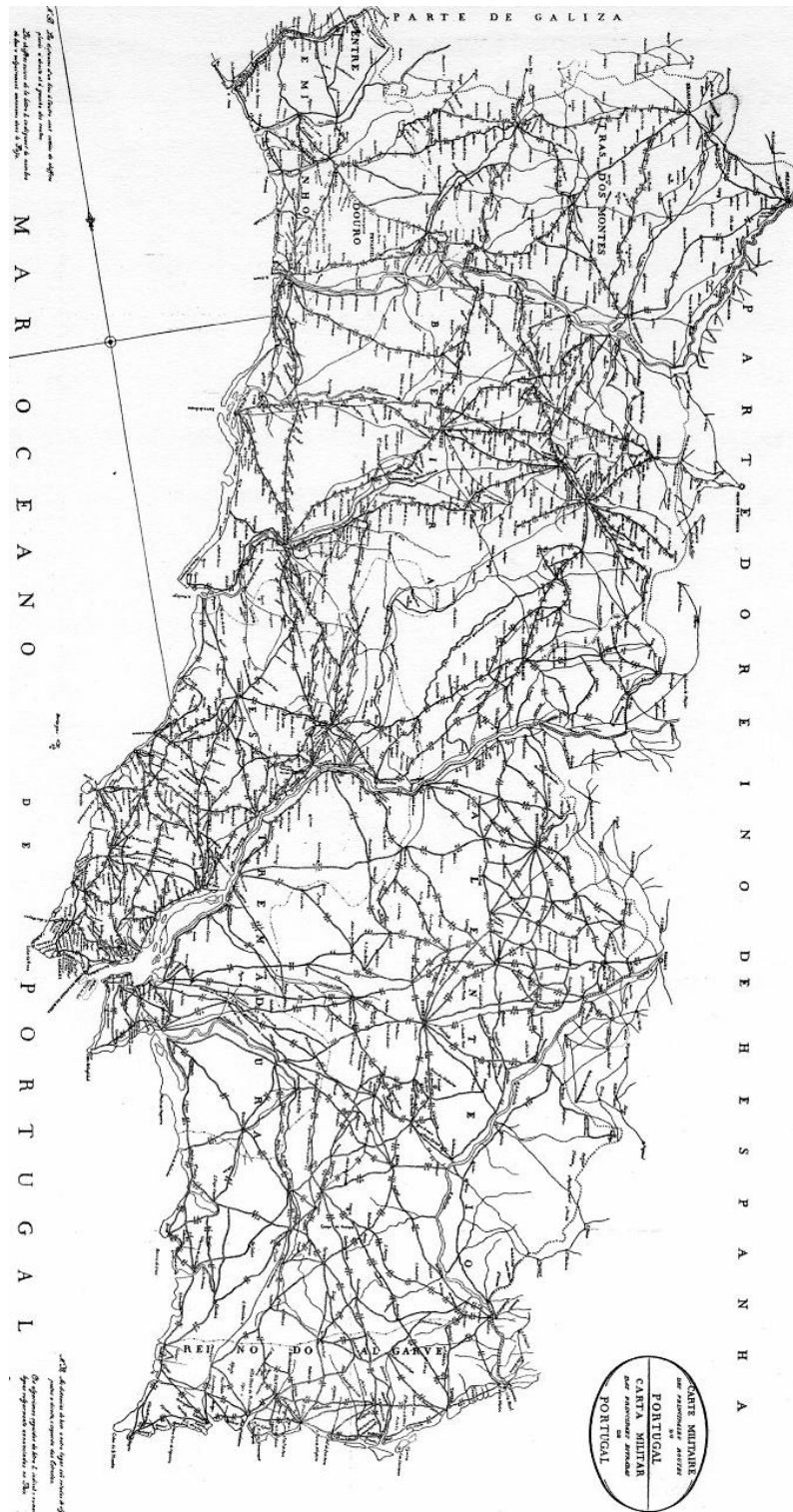


Figura 5 - Carta Militar das Estradas de Portugal em 1808 (Fonte: Macedo, 1982)

Relativamente aos tempos de viagens, estes estão expressos na seguinte figura, que mostra o tempo de viagem do correio expresso da Capital às cidades de distrito mais importantes de Portugal.

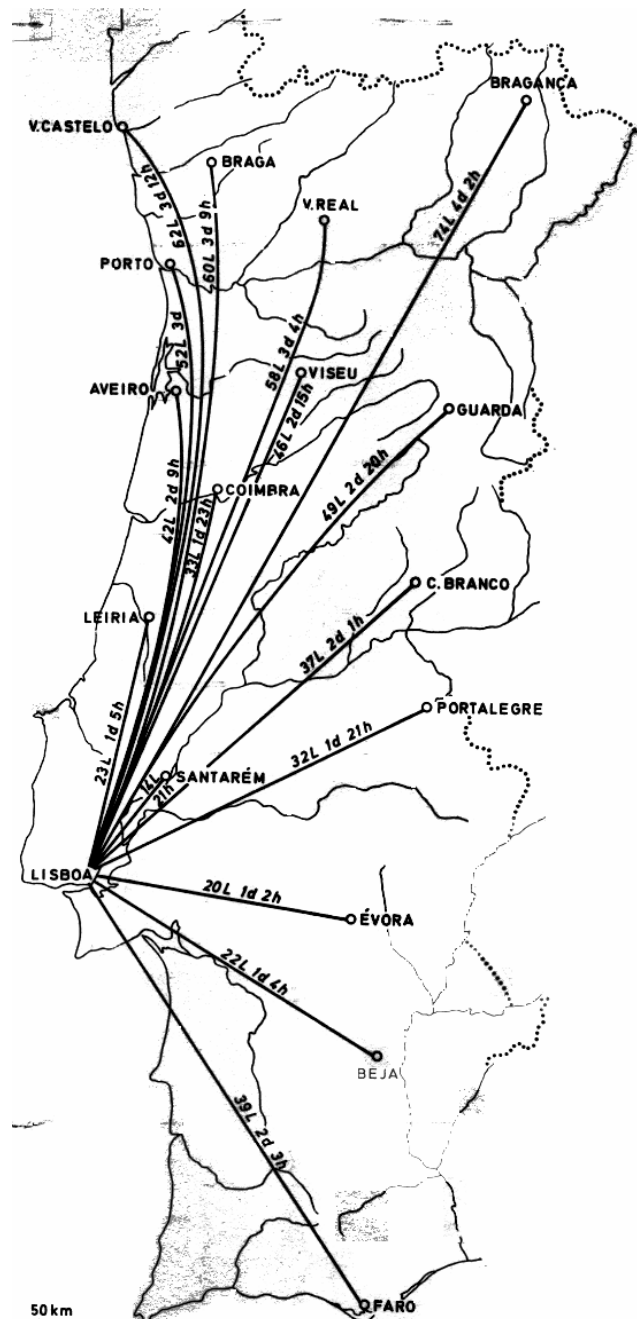


Figura 6 - Tempo que um Correio Expresso Levaria de Lisboa às Capitais de Distrito (Fonte: Matos, 1980)

Com o triunfo do Liberalismo em 1834, verificou-se um esforço em definir os objetivos e princípios orientadores da construção da rede viária. Foi assim criada uma Comissão de Melhoramentos de Comunicação Interior com a finalidade de criar uma política de desenvolvimento das vias de comunicação e sua reparação. Desde logo foi desenvolvida a seguinte classificação das estradas:

- Estradas de reais, todas as estradas que fizessem a ligação de Lisboa às capitais de distrito.
- Estradas de comércio, as estradas que ligassem as cidades e vilas com pelo menos 500 fogos.

- Estradas públicas, estas estabelecem a ligação com localidades de pelo menos 300 fogos.
- Estradas de vizinhança, as restantes estradas.

Este órgão de carácter consultivo elaborou um plano geral de estradas que proponha as dimensões para cada classe de estradas classificada. Esta foi a rampa de lançamento para uma fase de evolução da Rede Nacional de Estradas, onde se vulgarizou o método das estradas macadamizadas. Este passo inicial contribuiu para o melhoramento das condições de acessibilidade e nos 10 anos seguintes contribuiu de forma muito importante para a criação de legislação, sublinhando os processos de construção e melhoramento das estradas.

Dos finais do século XVIII até à década de 40 do século XIX houve, a necessidade de promover uma rede que liga-se as áreas mais importantes e de alargar mercados para as soluções locais. Na década de 90 iniciou-se um período de crise, provocando uma viragem na gestão da rede de estradas. O Estado passou a dar prioridade às obras de menor estatuto como as estradas locais, deixando as principais ao descuido. No final do século XIX, o governo de Hintze Ribeiro anunciou uma redução nas despesas públicas, fruto da crise que o país atravessava. Por esta altura a geometria adotada para as estradas continuava a ser definida pela legislação dos anos 60.

Na viragem para o século XX, verificava-se uma rede de estradas incompleta e muito danificada, e uma rede de caminhos-de-ferro razoável mas que mal servia as principais cidades. A debilidade das estradas continuava a ser um problema, pois ainda se verificava uma ausência do fecho da malha viária e uma baixa densidade nas zonas do interior. Os pavimentos apresentavam uma superfície dura e regular, com materiais de grande coesão e resistência. Contudo, era de notar um adensamento das estradas para o interior, na orla litoral entre Lisboa e Valença, dando corpo às propostas feitas nos anos anteriores relativamente à rede de estradas. Em 1917 a geometria das estradas foi alterada. As estradas de 1º e 3º ordem passaram a ter uma faixa empedrada, com largura de 5 metros e bermas com 0,8 metros, passando a flecha para uma concavidade de 1/50. Para as estradas de 3º ordem, a largura da faixa empedrada passou para 3,5 metros, com bermas de 0,75 metro, mas os valores das flechas mantiveram-se. Os declives não podiam exceder inclinações de 5%, com exceções em condições de terreno que justifiquem os 7% e elevar-se até 10% para extensões inferiores a 200 metros. A partir destes novos perfis, tornou-se possível efetuarem-se cruzamentos de veículos automóveis ou de viaturas de mercadorias pesadas.

A construção e conservação da rede viária sempre dependeu de grandes verbas. Em 1918, com Sidónio Pais no governo, o país notava uma grande falta de meios de construção nas estradas. Não havia uma única britadeira, os cilindros de compactação de aterros eram maioritariamente em pedra, não havia camiões de transportes de materiais e apenas existiam

dois veículos de fiscalização dos trabalhos. Nesse ano, o governo, condicionado por grandes dificuldades financeiras que permitissem suportar os custos de um melhoramento dos materiais de construção, viu como solução recorrer a empréstimos para consumir o investimento em ferramentas, máquinas, camiões e automóveis. Foi também criada a Administração Geral de Estradas e Turismo que, desde logo, impôs a substituição da mão-de-obra braçal por maquinaria moderna e adequada já existente noutros países. Estabeleceu novos tipos de pavimentos a usar nas estradas de grande circulação como o tarmacadame (incorporava o ligante nos materiais britados antes da aplicação sobre o leito) e o betão armado (pavimento de betão com armadura incorporada), mais resistentes ao desgaste provocado pela circulação automóvel.

Em 1926 dá-se o fim da Primeira República pela mão da ditadura militar, dando início ao Estado Novo. Em 1927 é criada a Junta Autónoma das Estradas (JAE), que apresenta um relatório resumindo o estado das estradas em Portugal. Consta que dos 16 000 quilómetros que constituíam a rede nacional de estradas, 4 000 estavam por construir e 10 000 em completa ruína ou perto dela. Assim, torna-se necessário e urgente dar maior incremento aos trabalhos de reparação das estradas e construir leitos de rolamento que melhor resistam à circulação automóvel. A JAE, classifica as estradas em 1º ordem, caminhos públicos da responsabilidade do Estado e 2º ordem, estradas municipais da responsabilidade dos municípios. Após a sua entrada em serviço, a JAE procurou fechar ligações interrompidas em vários locais, alargar, reparar e retificar traçados, permitindo maior conforto, segurança e velocidade, assegurando as principais ligações a Espanha.

No início do Estado Novo, quando entrou em vigor a Constituição de 1933, agravava-se por todo o mundo a crise económica, mas Portugal devido ao esforço exigido pela ditadura de Salazar, encontrava-se numa posição favorável. O governo de Salazar procurou fortificar, despertar e controlar a vida económica do país. Deu-se um equilíbrio orçamental que teve um duplo efeito na reanimação da economia, permitindo a expansão da rede rodoviária, com melhorias na rede interna e na rede de ligação às grandes vias de tráfego internacional, possibilitante o acesso aos mercados nacionais e internacionais. Esta situação permitiu que durante a década de 30 e 40 a JAE realizasse várias intervenções na rede de estradas portuguesas.

Após a II Guerra Mundial (1939-1945), Duarte Pacheco elabora o primeiro Plano Rodoviário Nacional (PRN). Este plano procura responder mais e melhor às necessidades das áreas pior servidas e divide a rede nacional em três classes, Municipais e Caminhos Públicos, estando este último dividido em Caminhos Municipais e Caminhos Vicinais. Denomina de itinerário principal as estradas nacionais de 1º classe, que com as de 2º classe constituem a Rede Fundamental. A 3º classe correspondia às ligações entre os concelhos. Para cada tipo de estradas estava associada uma velocidade máxima, denominada velocidade base. Estabeleceram-se novas regras de identificação das estradas. As Estradas Nacionais são designadas por EN. Para

as estradas de 1º classe, foi atribuída uma numeração de 1 a 199, para 2º classe de 201 a 300 e para 3º classe a partir de 301. As Estradas Municipais foram designadas de EM com numeração a partir da unidade, enquanto os Caminhos Municipais corresponderam as siglas CM.

Ainda na década de 40 foi criado o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), com o intuito de exercer atividades em múltiplos domínios da engenharia civil e áreas afins, tendo como missão empreender, coordenar e promover a investigação científica e o desenvolvimento tecnológico necessário ao progresso, à inovação e a boa prática da engenharia civil. Olhando para as infra-estruturas de transportes, dentro do LNEC criou-se a Secção das Estradas e Aeródromos (SEA) destinado a conduzir ações de investigação que contribuíssem para o progresso dos conhecimentos das infra-estruturas rodoviárias e aeroportuárias.

Até ao início da década de 60 houve um grande crescimento da rede nacional de estradas. As estradas alcatroadas passaram de 3 564 quilómetros para 7 495 quilómetros e os transportes automóveis tomaram um enorme incremento, assegurando a deslocação das pessoas e a circulação de mercadorias.

Na década de 60, com o engenheiro Eduardo Arantes de Oliveira como ministro das Obras Públicas, ganhou força o desenvolvimento da rede rodoviária internacional. Desenvolveu-se o eixo Valença/Porto/Lisboa, bem como o troço entre Albergaria-a-Velha e Vilar Formoso numa altura em que prosseguiram as obras da Auto-estrada Lisboa/Porto (A1). Nesta altura foi realizada a construção da Ponte da Arrábida no Porto e a Ponte Salazar (atualmente Ponte 25 de Abril) em Lisboa.

Desde os últimos anos da década de 60 até finais da década de 70, poucas são as obras que merecem registo, numa época marcada pelos efeitos da migração para os aglomerados de maior dimensão do litoral, com alargamento das periferias urbanas. Contudo, a revolução do 25 de Abril deu início a uma instabilidade governativa e de crise financeira que colmatou com a entrada do FMI em 1977 e em 1982 e com consequências económicas e sociais para o país.

Em 1977, a JAE fez um balanço da situação da rede rodoviária nacional, informando que esta se encontrava numa situação de completo desajustamento perante as necessidades de tráfego. Traçados sinuosos e estreitos, com pavimentos em degradação progressiva a atingirem o colapso.

Em 1985 criaram-se as condições para a aprovação de um novo Plano Rodoviário Nacional. Aqui, a definição da Rede Nacional obedeceu a critérios de ordem operacional, funcional e de acessibilidade. No primeiro ficou definido como limites, percursos com extensões superiores a 10 km apresentando um tráfego médio diário anual superior a 2000 veículos ou, em casos de ligações a sedes de concelho, superiores a 1000 veículos. No segundo definiu-se que a rede nacional deveria integrar as ligações entre as sedes de distrito com os centros urbanos, portos, aeroportos e com as fronteiras mais importantes. Finalmente estipulou-se que todas as sedes de concelho deveriam ter acesso à rede acima definida. Neste mesmo

plano, a Rede Nacional obedeceu a outros princípios genéricos de desenvolvimento regional. Nestes princípios destacam-se os de assegurar o crescimento económico, diminuir os custos de operação, facilitando a competitividade, desbloquear atividades e o desenvolvimento dos centros urbanos e possibilitar o urbanismo menos concentrado e melhoria do meio ambiente.

A entrada de Portugal na CEE (1986) garantiu uma disponibilidade de fundos para o investimento em infra-estruturas, sendo a rampa de lançamento para uma nova fase de transformação na sociedade portuguesas e para a expansão da rede de transportes nacional. Desde logo, define-se como primeiro objetivo a melhoria da rede de infra-estruturas de maior interesse nacional e internacional, a conclusão da rede de Itinerários Principais e com urgência para o IP1 (Lisboa/Porto) e IP4 (Porto/Vila Real/Bragança).

Nos finais dos anos 80, Portugal encontrava-se no 12º lugar europeu em termos de expansão de rede de auto-estradas e da sua densidade e em 14º no número de quilómetros por habitante, de um conjunto de 17 países europeus. A Lei de Bases do Sistema de Transportes Terrestres, em 1990 definiu como princípios base o desenvolvimento económico, o bem-estar da população e a proteção do ambiente. Entre 1990 e 1995 foram construídos 800 quilómetros de Itinerários Principais e cerca de 350 quilómetros de Itinerários Complementares. Assim, com os financiamentos da União Europeia criou-se a oportunidade esperada para realizar um conjunto significativo de obras baseados no pressuposto que o desenvolvimento económico e social interno e a redução das assimetrias regionais dependem muito da estrutura rodoviária existente. No final do ano de 1995 encontravam-se abertas ao tráfego 51% das estradas que integravam os IP's e 31% das que constituíam os IC's. Quanto aos Itinerários Principais, apenas estavam concluídos o IP4 e o IP5. Para os Itinerários Complementares estavam concluídos os IC15 (Lisboa/Cascais), IC18 (CREL), IC19 (Radial de Sinta), IC20 (Via Rápida da Caparica), IC21 (Via Rápida do Barreiro). Relativamente à conservação dos pavimentos, 82% encontravam-se em estado razoável. Em 2000 é aprovado um novo PRN, correspondendo a uma adaptação do PRN de 1985, incluindo uma reclassificação de vários itinerários, com um aumento da Rede Fundamental em cerca de 6000 quilómetros. É um documento pragmático que define orientações e objetivos, não prevendo custos nem concessões de empreitadas. O PRN 2000 propõe a conclusão da Rede Fundamental, bem como algumas intervenções locais, nomeadamente a construção de variantes à travessia dos aglomerados, o investimento na segurança (sinalização de áreas com registos frequentes de acidentes) e a crescente preocupação com o bem-estar dos utentes (aumento de áreas de serviço e descanso). Este plano teve igualmente em atenção a necessidade de promover o desenvolvimento de zonas fronteiriças ainda com carência ao nível da acessibilidade, procurando esclarecer alternativas às estradas com portagem e melhorar o acesso às zonas urbanas. Com a execução do PRN 2000, a Rede Nacional de Estradas passará a possuir uma extensão relativa e com qualidade bastante acentuada comparativamente com os padrões do panorama europeu. Este inclui uma Rede

Fundamental integrando os IP's, uma Rede Complementar integrando os IC's, um conjunto de outras vias designadas por Estradas Nacionais e classifica uma nova categoria de estradas, as Estradas Regionais, rede de nível intermédio entre a rede nacional e a rede municipal. A figura 7 representa a Rede Rodoviária Nacional de acordo com o PRN 2000.

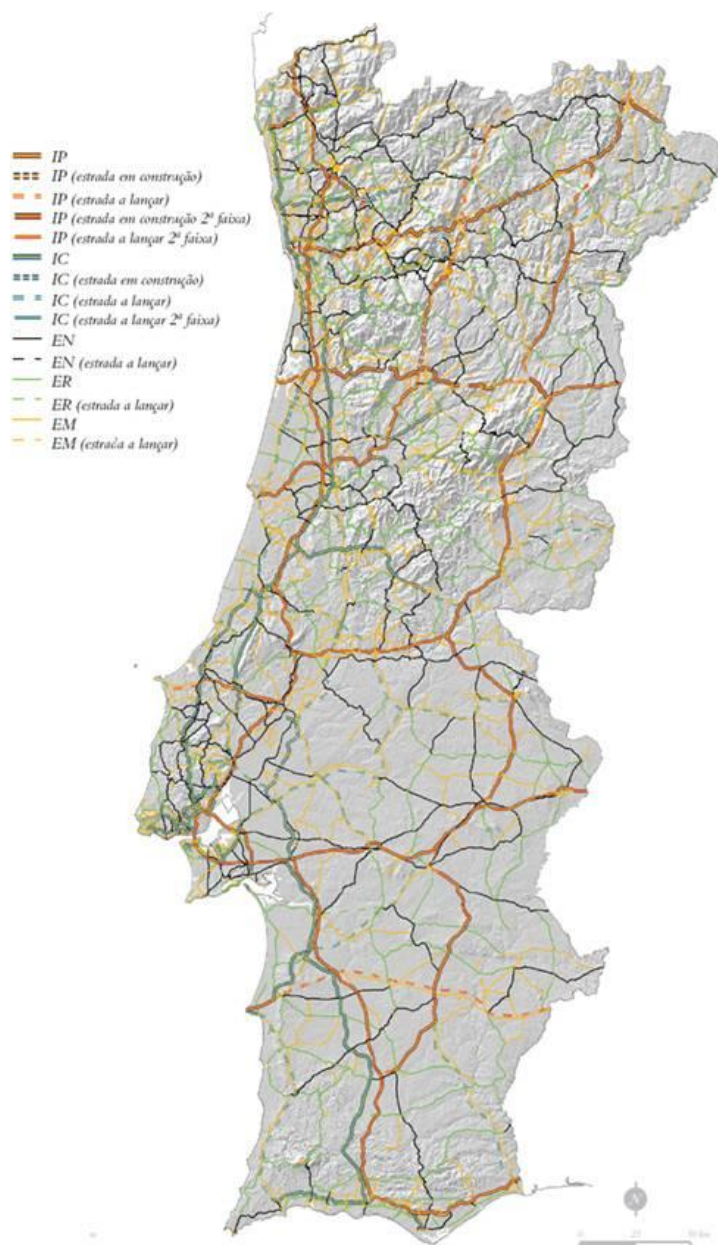


Figura 7 - Rede Rodoviária Nacional (PRN 2000) (Fonte: Transportes Rodoviários, 2011)

Na viragem de milénio é extinta a JAE, criando-se mais tarde, em 2007 as Estradas de Portugal, S.A., ficando dotada de uma estrutura societária mais compreensível pelo mercado financeiro nacional e internacional.

Com a evolução da estrutura da rede dos últimos anos ocorreram alterações nos diferentes tipos de vias consideradas nos Planos, especialmente nos traçados, proporcionando maiores velocidades e segurança da circulação. Resultou, assim, uma importância acrescida e exigente nas várias componentes da obra rodoviária, terraplenagens, drenagem, pavimentação,

sinalização e segurança. A pavimentação merece uma atenção especial, já que implica um elevado custo tendo em conta a importância da qualidade da superfície de rolamento, de forma a proporcionarem aos utentes uma boa comodidade e segurança da circulação e ainda ao facto de o volume de tráfego ter vindo a aumentar, exigindo pavimentos mais resistentes. Para além disso, o pavimento é a parte da obra rodoviária mais sujeita as ações agressivas, daí a profunda evolução nos últimos anos, tanto na conceção dos pavimentos como nos materiais utilizados, nos métodos de dimensionamento e nas práticas construtivas.

Atualmente a rede de IPs e ICs representa apenas 28% da Rede Nacional prevista no PRN 2000 mas, por outro lado, a rede em falta apresentará possivelmente características geométricas mais relevantes do que as da maioria das estradas existentes. Sendo assim, é possível concluir que o património rodoviário a conservar nas próximas décadas será superior em mais de 80% relativamente ao atual existente, bem como o seu custo será cada vez maior. É fundamental prever uma conservação programada de carácter preventivo, para que a rede não atinja um estado de degradação avançada exigindo enormes investimentos para os quais o país não poderá fazer face. Assim, torna-se indispensável proceder a uma adequada gestão da rede, o que envolve o desenvolvimento de programas de conservação, bem como a definição de recursos humanos e materiais, a atribuir às entidades gestoras.

Na entrada da primeira década do século XXI, o país está mergulhado numa crise económica sem precedentes, fruto de anos consecutivos de défice nas contas públicas, equilibradas por empréstimos vindos dos Estados Membros. Com a União Europeia a pressionar os governantes portugueses, e com a entrada do FMI, o Primeiro-ministro Passos Coelho é obrigado a fazer um reajuste nas costas públicas, criando programas de ajustamento orçamental baseados em políticas de austeridade, com sucessivos cortes nas despesas públicas e aumento da carga fiscal. Vive-se um período de instabilidade na União Europeia onde, a par de Portugal, outros países como Espanha, Itália e Grécia, entre outros, que outrora foram fortes potências económicas, hoje atravessam períodos difíceis na sua economia. A crise em Portugal, que começou a dar sinais já no anterior governo de José Sócrates (2006), atinge proporções elevadas entre os anos de 2011 e 2014, com graves consequências para o país, tanto a nível económico como social, com valores de desemprego e de imigração elevados e preocupantes. Este período prejudicou o investimento nas obras de construção civil e, consequentemente, o desenvolvimento da rede rodoviária, que mostra indícios de estagnação. Atualmente Portugal está sem poder económico para investimentos nas obras públicas e com o encerramento de um elevado número de empresas da construção por insolvência ou emigração, demonstrando claramente a crise existente no setor da construção que, depois dos “anos de ouro”, com a entrada de fundos da EU, vê uma enorme queda no investimento da Rede Nacional Rodoviária.

2.8. Evolução dos Pavimentos Rodoviários

2.8.1. Evolução dos Materiais

Como já foi referido anteriormente, na Idade Média e até ao início do século XIX, as estradas eram basicamente em terra batida e estreitas, podendo nos centros urbanos mais importantes ser ladrilhadas ou calcetadas.

Nos finais da primeira metade do século XIX, em Portugal, passa a ser utilizado na construção de estradas o método *Mac-Adam*, desenvolvido pelo engenheiro escocês *John Loudon McAdam*. Este processo, que em homenagem ao seu criador ficou reconhecido por *Macadame*, consistindo em assentar 3 camadas de brita gradualmente mais pequenas, numa fundação com valas laterais para a drenagem de água da chuva. Para a primeira camada, o tamanho da brita era de 75 milímetros, a segunda camada de 50 milímetros e a terceira de 25 milímetros. Quanto aos vazios, o seu preenchimento era feito com saibro e cada camada era comprimida por um rolo pesado, fazendo um melhor imbricamento das pedras. A execução deste método necessitava de muita mão-de-obra mas, em contrapartida, o pavimento era mais forte e drenado, sendo denominado por “*macadame hidráulico*” .



Figura 8 – Construção da Primeira Estrada Macadamizada nos EUA em 1823 (Fonte: Wikipedia, 2014)

No início do século XX, solicitava-se que os pavimentos apresentassem uma superfície dura e regular, constituída por materiais de grande coesão e bastante resistentes. Por essa altura, os pavimentos apresentavam três tipos de construção diferentes:

- **Empedrada:** Consistia em camadas de pedra miúda britada ou seixo rolado, regularizadas e consolidadas com saibro e compactadas com um cilindro, assentes sobre um leito ou caixa aberta no terreno.
- **Calçada:** Consistia numa camada de pedras talhadas em formas regulares ou irregulares, assentes à mão, apertadas umas contra as outras e com as juntas preenchidas com areia.

- **Madeira, betão e asfalto:** Apenas de uso urbano.

A limitação dos pavimentos era feita por bermas, valetas e banquetas de segurança. As bermas eram constituídas por faixas de terra plana, definindo os limites da faixa de rodagem, onde suportavam o empedrado ou calçada, evitando o espalhamento dos materiais constituintes do pavimento. Contudo, serviam de passeio para os peões, facilitando o cruzamento de viaturas e servindo de depósito dos materiais de reparação e conservação. Relativamente à sua elevação, esta era apenas superior à faixa de rodagem dentro das povoações, pois fora delas, as bermas estavam ao mesmo nível.

As valetas delimitavam a plataforma e a sua principal função era a drenagem das águas da chuva para terrenos adjacentes. Geralmente a sua forma era trapezoidal, com 50 centímetros de profundidade abaixo da berma, onde os lados faziam um ângulo de 45° para cima ou no caso da existência de taludes, as valetas apresentavam a inclinação dos mesmos.

As banquetas de segurança eram em terra, construídas nos troços sobre aterros muito altos, ou quando as estradas eram em terreno acidentado.

Outras construções eram as guarda-rochas, que apresentavam uma secção transversal de pirâmide truncada com cerca de 1,70 metros de base, 50 centímetros de altura no centro e uma face superior de 20 centímetros de largura, com inclinação para ambos os lados.

A arborização era, já naquela época, considerada como riqueza estética da região, contribuindo para a conservação das estradas e para a manutenção dos níveis de humidade dos pavimentos e dos taludes, proporcionando frescura e sombra.

As fundações foram principalmente estudadas pelos Estados Unidos que, no II Congresso Internacional de Estradas em 1910, apresentaram quatro categorias diferentes, conforme o modo de execução:

- Macadame assente diretamente na terra natural;
- Macadame assente em blocos de pedras (fundações Telford);
- Betão de cimento com cerca de 20 centímetros (esta considerada a melhor fundação);
- Materiais diversos, tais como escórias e pedra britada.

Foi também nos EUA que se começou a ensaiar revestimentos com betuminoso, à base de hidrocarbonetos, assentes sobre gravilha, para impedir a formação de lamas e poeiras, onde se concluiu que misturar areia siliciosa ao revestimento traria melhores resultados. Ainda nos EUA, desenvolveu-se um processo de estradas com pavimentos de betão de cimento, que mais tarde utilizou armaduras metálicas agregadas ao betão, de modo a reduzir fenómenos de fissuração.

Dentro dos primeiros anos do século XX, tanto em Portugal como na Europa, começou-se a aplicar ligantes com base em hidrocarbonetos, em estradas de grande circulação. Assim, distinguiram-se dois tipos de revestimentos:

- Alcatroamento superficial;
- Recarga com incorporação do ligante aos materiais antes da aplicação.

Quanto às calçadas, a estas eram muitas vezes espalhadas uma mistura de cal hidráulica, em pó, misturada com areia.

Na década de 20 as normas relativamente às estradas recomendavam que as caixas de fundações tivessem 20 centímetros de altura e a espessura da camada de macadame variava entre 15 a 20 centímetros para as estradas correntes e 25 centímetros para estradas de maior tráfego. Os materiais a aplicar deveriam ser granitos, quartzos, grés quartziosos, basaltos e xistos, de acordo com a região do país.

A partir de 1926, para além do uso do macadame em pavimentos, estes eram construídos por betuminoso, paralelepípedos ou cubos, calçada argamassa e, em alguns casos, por betão. Os pavimentos de macadame eram considerados impróprios para o tráfego automóvel, no entanto quando construídos por duas camadas sobrepostas e revestidos superficialmente por betuminoso, garantiam bons resultados.

Nos finais da década de 20, começou-se a aplicar um revestimento em semipenetração, que consiste em preencher parcialmente, ou na totalidade, as juntas ou interstícios existentes entre a brita, que integrava o macadame, com alcatrão, betume ou emulsão betuminosa, misturado com materiais de agregação. O ligante deixou de ser o saibro e passou a ser o betume, ficando o macadame hidráulico apenas na camada de fundação. Contudo, e devido a restrições financeiras, a JAE optava maioritariamente por pavimentos de macadame em duas camadas, uma de macadame e outra de desgaste. A camada de desgaste podia ter, ou não, um revestimento superficial de betuminoso. A tabela seguinte é ilustrativa dos métodos de pavimentação utilizados em Portugal, de acordo com as respetivas extensões.

Tabela 1 - Extensões de Estradas Construídas com Pavimentos Aperfeiçoados Entre 1927 e 1935 (Fonte Lima Maré, 2011)

Pavimentos aperfeiçoados	Extensões construídas (km)
Macadame com revestimento betuminoso superficial	2334
Semipenetração betuminosa	1300
Penetração betuminosa	18
Paralelepípedos ou cubos de granito	277
Betão	23
Total	3952

Na década de 30 eram utilizados pavimentos de terra, sem mistura de agregados e sem qualquer revestimento superficial. Estes tipos de estradas eram apenas utilizadas quando os

terrenos apresentassem condições adequadas, com boas condições de saibro e argila e com uma compactação apropriada.

Em França, os betumes e os asfaltos utilizados nos revestimentos eram classificados em:

- Apenas à base de betume (material betuminoso proveniente da destilação do petróleo);
- Com base em betume e asfalto;
- Apenas à base de asfalto (mistura natural constituída por betume de origem petrolífera com propriedades aglutinantes características e material pétreo predominantemente fino).

Por sua vez, os revestimentos eram aplicados de três formas:

- Películas;
- Fabricados em central;
- Fabricados “*in situ*” .

Com o fim da II Guerra Mundial houve uma falta de materiais para a construção e reparação originando a ruína de alguns troços. Nesta altura os materiais betuminosos podiam ser:

- Betuminosos;
- Alcatrão;
- Emulsões betuminosas.

Já em Portugal nessa mesma época, os tipos de pavimentos aplicados eram:

- Revestimento superficial betuminoso;
- Semipenetração betuminosa;
- Penetração betuminosa;
- Betuminoso por mistura prévia dos materiais.

Os primeiros três pavimentos, anteriormente descritos, eram muito utilizados na conservação de estradas pouco movimentadas, enquanto que o último pavimento era um modelo por excelência. Estes eliminavam por completo o uso de gravilhas e de areias soltas, que originavam as derrapagens. No entanto, os paralelepípedos ou cubos de granito ou calcário, ocupavam lugar de destaque na pavimentação de estradas devido à sua durabilidade, possibilidade de reaproveitamento, facilidade de assentamento e ao facto de se dispender apenas matérias-primas e mão-de-obra nacional. Relativamente à aplicação de pavimentos de betão com cimento, para além de ser dispendiosa a sua aplicação como revestimento, havia em Portugal uma fraca produção de cimento, o que conduzia a uma reduzida adesão a este tipo de material.

Estes foram os tipos de pavimentos construídos durante muitos anos, ao longo de toda a rede viária nacional. Nos últimos anos tem-se assistido a uma melhoria no desempenho dos materiais e do aperfeiçoamento de novas técnicas. Tornou-se importante o estudo de melhores características superficiais, assim como dos solos de fundação. Nos dias de hoje, os pavimentos são estruturas complexas, compostas por várias camadas, cada uma com funções diferentes colocadas sobre uma plataforma de suporte.

2.8.2. Evolução dos Processos de Dimensionamentos

O dimensionamento de pavimentos consiste em calcular as espessuras das camadas, bem como, especificar as características dos materiais que constituem essas camadas, por forma a limitar a ocorrência de deformações e aumentar a longevidade dos pavimentos.

O dimensionamento dos pavimentos começou a ser aplicado com a existência de organismos oficiais, que passaram a observar o comportamento dos pavimentos em diversas condições.

Em 1920, nos EUA realizou-se o primeiro grande ensaio rodoviário à escala natural, com o estudo de pavimentos com diversos materiais. Com isto, foi elaborado um “catálogo de estruturas”, que especificava as espessuras a utilizar para certas situações diferenciadas. Estes primeiros catálogos eram, de certa forma, muito genéricos, o que conduziu ao desenvolvimento de novos métodos mais rigorosos, que apesar de baseados nos comportamentos por observação, já procuravam caracterizar mais objetivamente a resistência do solo de fundação.

Relativamente ao solo de fundação, um dos métodos criados foi o *California Bearing Ratio* (CBR), que fornecia a espessura do pavimento em função do CBR do solo, sendo muito conhecido e usado nos dias de hoje.

Com a II Guerra Mundial, os aeródromos militares passaram a ser solicitados com cargas por roda que excedia a capacidade das estradas, originando rápidas roturas no pavimento e levando ao desenvolvimento de métodos empíricos de dimensionamento. Estes modelos empíricos, na tentativa de se adaptar às novas soluções, levou aos primeiros estudos de modelos teóricos baseados na Teoria da Elasticidade para o cálculo das tensões e extensões dos pavimentos.

Em 1943, *Burmister* deduziu expressões analíticas baseadas no modelo de *Boussinesq* (1885) para o cálculo de tensões num meio semi-indefinido, homogéneo e elástico. A partir destas expressões foi possível calcular assentamentos à superfície dos pavimentos.

Nas décadas de 50 e 60, deu-se um grande desenvolvimento económico e um exponencial crescimento do tráfego. Nos EUA recorreu-se a grandes ensaios de pavimentos à escala real e com tráfego real, onde se destacaram os ensaios WASHO (*Western Association of State*) e AASHO (*American Association of State Highways Officials*). O conceito de espessura

equivalente deduzido deste ensaio, permitiu utilizar as tabelas e ábacos de 1962 criados por Jones e Peattie respetivamente, possibilitando a determinação de tensões instaladas num sistema por três ou mais camadas.

Em Portugal, pela mesma altura foi apresentado um método simplificado, que permitia o cálculo das tensões nas superfícies de contacto entre camadas e na fundação.

Em 1977, já havia métodos de dimensionamento que integravam modelos de comportamento dos materiais e do pavimento no seu conjunto, conhecidos como empírico-mecanicistas, onde os mais conhecidos eram os métodos da *Shell*, de *Nottingham*, *Asphalt Institute*, Manual da AASHO, entre outros. Estes deram origem a tabelas e a catálogos de aplicação e mais tarde a *softwares* de cálculo automático.

Nos seguintes anos até aos dias de hoje, verificou-se uma evolução nos métodos de cálculos já conhecidos e da forma de avaliação da capacidade de carga e respetiva interpretação.

Em Portugal, referente aos pavimentos flexíveis, recorre-se aos métodos empírico-mecanicistas como a *Shell* e *Nottingham*. Para pavimentos semi-rígidos, os métodos são semelhantes aos pavimentos flexíveis. Já nos pavimentos rígidos, os métodos de dimensionamento são mais específicos, sendo o mais conhecido o método do *Portland Cement Association* (PCA).

3. Caracterização dos Pavimentos Rodoviários

3.1. Tipos de Pavimentos Rodoviários

Um pavimento rodoviário é considerado como um sistema laminar formado por um conjunto de camadas de espessura finita, constituída por diferentes materiais apoiados numa fundação (maciço semi-infinito). Tem a função de assegurar uma superfície de rolamento que permita a circulação dos veículos em comodidade e segurança durante um determinado período de vida útil sob ações de tráfego e condições climáticas adversas.

Para um bom funcionamento dos pavimentos rodoviários são exigíveis dois tipos de qualidade: qualidade funcional e qualidade estrutural. A qualidade funcional afeta mais os utentes, relacionando-se com fatores como a segurança, o conforto e a economia, procurando criar uma superfície regular com suficiente rugosidade e resistência ao desgaste. Já a qualidade estrutural está relacionada com a capacidade de o pavimento resistir às cargas dos veículos sem sofrer alterações para além dos valores determinados, que possam pôr em risco a qualidade funcional e segurança de circulação dos utentes.

A característica mais importante da qualidade funcional é, sem dúvida, a resistência à derrapagem em tempo de chuva, havendo o perigo de falta de aderência entre os pneus e o pavimento molhado, podendo originar graves acidentes. É igualmente importante existir uma boa drenagem superficial e uma boa impermeabilização, para não afetar a integridade estrutural, contribuindo para a sua preservação. Outra característica prende-se com as irregularidades do pavimento, que se refletem principalmente no conforto da circulação, onde em casos extremos poderá afetar a segurança. Uma característica que não está diretamente relacionada com a segurança, mas que tem a sua relevância é o ruído de circulação, sendo este ainda mais importante em áreas urbanas. Um pavimento ruidoso é incomodativo não só para os condutores, aumentando-lhes os níveis de cansaço, mas também para os habitantes numa área próxima. Existem ainda outras características não diretamente relacionadas com o pavimento, mas com os seus equipamentos. São exemplo a sinalização horizontal, dispositivos de regularização da velocidade e outras propriedades óticas que podem influenciar a segurança rodoviária.

Um pavimento é constituído por um conjunto de camadas colocadas horizontalmente sobre o terreno. Estas camadas de determinada espessura e material são apoiadas no solo de fundação, que pode ter um coroamento de qualidade melhorada. Estas camadas podem ser divididas em três conjuntos: camadas ligadas ou superiores, constituídas por materiais granulares estabilizados com ligantes, colocados na parte superior do pavimento. Camadas granulares, constituídas por inertes britados ou naturais, tratados ou não, colocados na parte inferior do pavimento. Por último a fundação (terreno natural), onde assentam todas as anteriores camadas. Estas diferentes camadas dispõem-se, normalmente, com qualidade e resistência decrescente, no sentido da superfície do pavimento para o solo de fundação de

acordo com a gradual redução dos esforços e profundidade das cargas. Cada camada é caracterizada pelo comportamento mecânico dos materiais, definido pelo módulo de deformabilidade (E) e pelo coeficiente de Poisson (ν). O módulo de deformabilidade define a relação entre as tensões e as deformações dos materiais constituintes das camadas de um pavimento e o coeficiente de Poisson define a relação entre as deformações radiais e as deformações axiais dos materiais. A seguinte figura ilustra os três conjuntos.

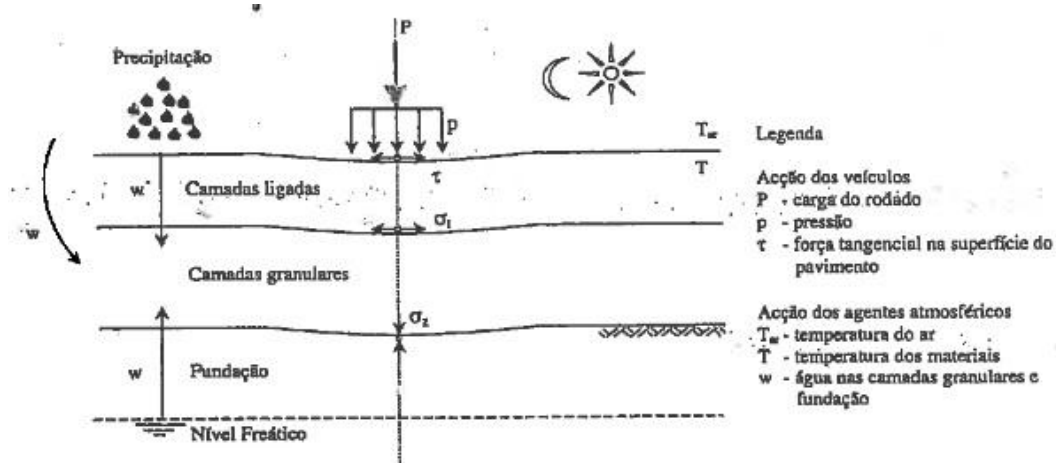


Figura 9 - Camadas do Pavimento Rodoviário (Fonte: Branco et al., 2006)

Devido à associação de camadas por diferentes materiais, resultam diferentes tipos de pavimentos, consoante os materiais e a sequência de camadas que os constituem. Os pavimentos podem ser constituídos por diversos materiais, podendo agrupar-se segundo o seu comportamento estrutural e deformabilidade em quatro tipos:

- Pavimentos flexíveis, constituídos por camada de desgaste, camada de regularização, camada de base e camada de sub-base.
- Pavimentos rígidos, constituídos por camada de desgaste e camada de sub-base.
- Pavimentos semi-rígidos, constituídos por camada de desgaste, camada de base e camada de sub-base.
- Pavimentos granulares, revestimento superficial e várias camadas granulares.

A escolha de cada um destes tipos de pavimentos dependerá da intensidade de tráfego, da qualidade resistente do solo de fundação e da qualidade dos materiais disponíveis.

Tabela 2 - Deformabilidades dos Pavimentos (Fonte: Branco et al., 2006)

Tipos de pavimentos em função dos materiais e da deformabilidade

Tipo de Pavimento	Materiais (ligante)	Deformabilidade
Flexível	Hidrocarbonados e granulares	Elevada
Rígido	Hidráulicos e granulares	Muito reduzida
Semi-rígido	Hidrocarbonados, hidráulicos e granulares	Reduzida

3.1.1. Pavimento Flexível

Os pavimentos flexíveis caracterizam-se pelas suas camadas superiores serem constituídas por materiais estabilizados com ligantes betuminosos, misturas betuminosas, seguido de camadas granulares. Esta estrutura apresenta grande flexibilidade, obtendo elevadas deformações, sendo pouco resistente a esforços de tração. A resistência estrutural destes pavimentos é dada pelas diferentes camadas que o constituem, sendo a camada de base a mais importante, pois recebe os esforços de tráfego provenientes da camada de desgaste.

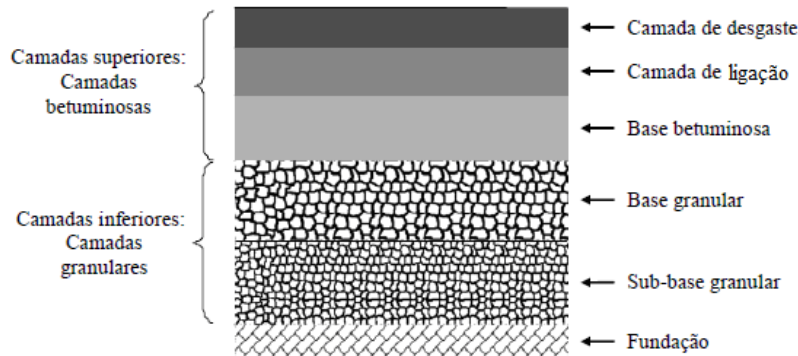


Figura 10 – Constituição de um Pavimento Flexível (Fonte: Lopes, 2009)

3.1.2. Pavimentos Rígidos

Os pavimentos rígidos são compostos por uma camada superior constituída por materiais estabilizados com ligantes hidráulicos (laje de betão), tendo a dupla função de camada de desgaste e de base, seguida de uma camada granular, que no caso de tráfego intenso é estabilizada com ligante hidráulico. A sua função estrutural é garantida pela elevada resistência à flexão da laje de betão, fazendo com que o pavimento não sofra deformações acentuadas mesmo quando sujeita a temperaturas elevadas e tráfego pesado, lento e intenso e em solo de fraca capacidade de carga, pois as tensões geradas no solo de fundação são meramente residuais.

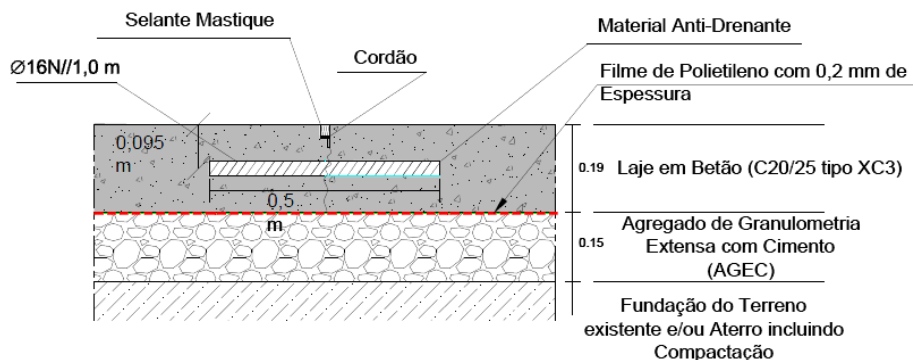


Figura 11 – Constituição de um Pavimento Rígido (Fonte: Pereira et al., 2013)

O objetivo da aplicação deste tipo de pavimento é de fornecer uma estrutura mais eficiente para resistir às elevadas cargas a que este estará sujeito. É de referir que o pavimento rígido apresenta um investimento inicial bastante elevado, mas o período de vida útil é maior em relação ao pavimento flexível.



Figura 12 – Execução de um Pavimento Rígido, (Fonte: Panorâmio, 2014)

A resposta estrutural dos pavimentos rígidos em relação aos flexíveis é diferente perante as mesmas ações. Os flexíveis, como apresentam uma camada superficial em betuminoso, conduzem a uma maior concentração de tensões sobre o solo de fundação, devido à flexibilidade das camadas betuminosas. Já os pavimentos rígidos têm uma maior distribuição de tensões no solo de fundação, sendo a tensão máxima menor quando comparada com a tensão máxima dos pavimentos flexíveis. Pode ver-se na seguinte figura a diferença de distribuição das tensões entre os dois pavimentos.

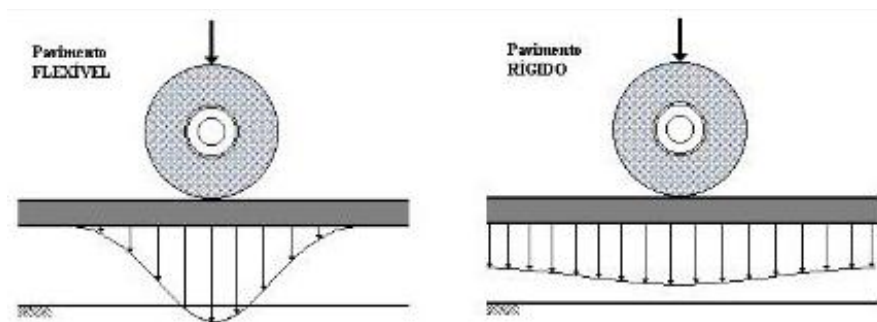


Figura 13 – Comparação das Tensões Entre o Pavimento Flexível e Rígido (Fonte: ebah, 2014)

3.1.3. Pavimentos Semi-Rígidos

Os pavimentos semi-rígidos apresentam camada de desgaste e regularização em betuminoso tal como os pavimentos flexíveis, diferenciando-se na camada de base. Esta camada é constituída por um material granular estabilizado com ligante hidráulico, normalmente betão pobre, que devido à sua elevada rigidez, absorve a maior parte dos esforços verticais, proporcionando valores muito reduzidos na camada de fundação. Relativamente à camada de sub-base, esta é constituída por material granular.

Dentro dos pavimentos semi-rígidos podem distinguir-se duas diferentes estruturas, as diretas e as inversas. Na estrutura direta, é colocada uma camada de mistura betuminosa sobre a base estabilizada com ligante hidráulico, eventualmente com intercalação de uma interface retardadora da propagação de fissuras. Nas estruturas inversas, existe a interposição de uma camada granular, não ligada, entre as camadas betuminosas e a camada de betão pobre.

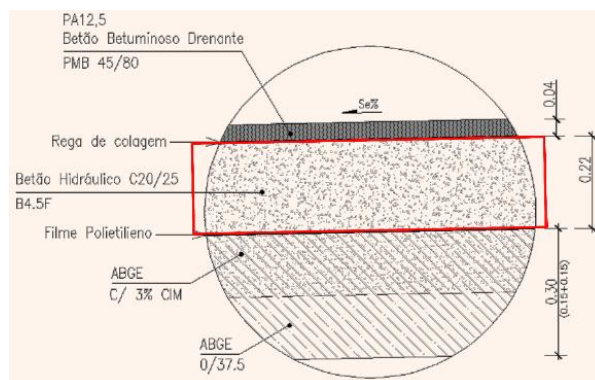


Figura 14 – Constituição de um Pavimento Smi-rigido (Fonte: Jacob, 2013)

3.1.4. Pavimentos Granulares

Não são utilizados para tráfego intenso, mas sim para complementar as principais vias a pequenos acessos. Longe das grandes cidades, este tipo de pavimento, já menos usado nos dias de hoje, pode ser encontrado em aldeias mais afastadas dos centros urbanos.

São constituídos por uma camada de material granular, com espessuras entre 15 e 30 cm e por uma camada de revestimento superficial, geralmente gravilha.

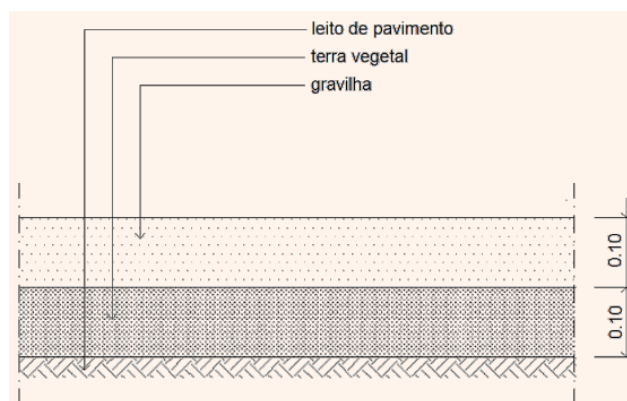


Figura 15 – Constituição de um Pavimento Granular (Fonte: Jacob, 2013)

3.2. Características do Pavimento Flexível

3.2.1. Camadas

Como já foi referido, o pavimento flexível é constituído por três ou mais camadas betuminosas (misturas betuminosas), camada de desgaste, de regularização e de base, coladas entre si e uma camada granular que assenta no solo de fundação.

Camada de Desgaste

A camada de desgaste é a camada superior onde circulam os veículos, estando sujeita ao volume de tráfego e às agressões dos agentes erosivos e climáticos, devendo garantir:

- Um bom coeficiente de atrito entre o pneu e o pavimento quer para pisos secos, quer para molhados;

- Uma superfície regular que garanta a circulação em boas condições de conforto, economia e segurança;
- Boas condições de drenagem e óticas;
- Proteger as camadas inferiores das ações climáticas.

Camada de Regularização

Esta é a segunda camada a partir da superfície, logo a seguir à camada de desgaste. Tem como principais funções, regularizar a superfície e conferir acréscimo de resistência estrutural.

Camada de Base

A camada de base é talvez a mais importante das camadas betuminosas. Esta tem uma função apenas estrutural, mas é a principal responsável pela degradação das cargas verticais resultantes da ação do tráfego, diminuindo as tensões de compressão na sub-base. É também a camada onde normalmente se geram as tensões de tração.

Colagem

Nas camadas betuminosas, quando sujeitas ao tráfego, originam-se tensões de compressão na face superior e tensões de tração na face inferior. Isto origina um ponto a ter em conta, pois os pavimentos flexíveis não estão apenas dependentes das características dos materiais, mas também das suas condições de fronteira. O facto de as camadas betuminosas trabalharem soltas entre si, origina um estado de tensões muito severo para estas, o que já não acontece caso as camadas estejam coladas, pois passam a trabalhar como uma só. Esta ligação (colagem), geralmente é feita com recurso a emulsões betuminosas.

Uma emulsão betuminosa é definida pela *Shell* como, “um sistema heterogéneo de duas fases, consistindo em dois líquidos imiscíveis, betume e água, e que se mantém estável devido ao emulsionante que se distribui à volta dos glóbulos de betume e estabelece aí uma camada de cargas elétricas que repelem às dos outros glóbulos, mantendo assim o sistema em equilíbrio” . Para fins rodoviários são utilizados dois tipos de emulsões betuminosas, as catiónicas e as aniónicas. Normalmente, para efeitos de pavimentação, as utilizadas são as catiónicas, que sendo mais recentes e com rotura mais rápida que as aniónicas, apresentam boa adesividade a todos os tipos de inertes com tempo seco ou húmido. Já as aniónicas, apenas são aplicáveis em tempo seco e com inertes de calcário.

Na simbologia adotada em Portugal, usa-se E para emulsão, A ou C para aniónica ou catiónica, R, M e L para rotura rápida, média e lenta, respetivamente.

Camada de Sub-Base

Esta camada é constituída por agregados, geralmente agregado britado de granulometria extensa (ABGE), sendo a última camada do pavimento e pousando diretamente no solo de fundação. Tem como principais funções:

- Proteger as camadas inferiores durante a fase construtiva;
- Proteger a base da subida das águas por capilaridade;
- Resistir à erosão e drenagem interna do pavimento;
- Diminuir as tensões de compressão na fundação.

Solo de Fundação

De acordo com a CEPISA, a fundação de um pavimento é “o conjunto das camadas onde este (pavimento) está apoiado, incluído, para além da camada de leito do pavimento, os terrenos subjacentes.” As suas funções, descritas no manual “Pavimentos Rodoviários” de Fernando Branco, Paulo Pereira e Luís Picado Santos, são:

- Assegurar uma superfície regular e uma capacidade de suporte, a curto prazo, que permita a construção da primeira camada do pavimento com a espessura e grau de compactação pretendidos;
- Assegurar, a longo prazo, a capacidade de suporte necessária para o bom funcionamento estrutural do pavimento;
- Permitir, sem degradação, a drenagem da água das chuvas e a circulação do equipamento de obra, antes da construção do pavimento.

Dada a sua importância na resistência do pavimento e mesmo em fase de dimensionamento é essencial o estudo e caracterização da fundação, principalmente o estudo do comportamento mecânico dos solos que contribuem para o leito de um pavimento. Neste âmbito, existem alguns procedimentos de caracterização da capacidade de suporte das fundações, onde um dos mais utilizados é o “Índice Californiano de Capacidade de Suporte das Fundações” (CBR). A aplicação deste método de dimensionamento permite obter uma espessura do pavimento requerida sobre um material com determinado valor de CBR e para uma determinada carga por roda, dependendo apenas do solo de fundação e do tráfego.

A determinação do CBR para um determinado pavimento vai para além da determinação do CBR do solo, isto porque o CBR varia de ponto para ponto e o CBR do solo no início do pavimento pode ser completamente diferente do CBR do solo no final, dificultando a admissão de um único CBR. Assim, nasce o conceito de CBR de projeto, que ajuda na resolução deste problema. O CBR de projeto corresponde à probabilidade de ser maior ou igual a 90% dos CBR's do solo de fundação.

3.2.2. Misturas betuminosas

As misturas betuminosas são geralmente constituídas por um conjunto de materiais granulares e uma determinada quantidade de ligante, misturados numa central. Após misturados são transportados, espalhados e compactados no local pretendido, constituindo assim, uma camada de pavimento. Uma mistura betuminosa deve de ter as seguintes características, de acordo com o Asphalt Institute, 1983:

- Estabilidade
- Durabilidade
- Flexibilidade
- Resistência à fadiga
- Aderência
- Impermeabilidade
- Trabalhabilidade

A mistura betuminosa pode ser feita a quente ou a frio, sendo mais usada em pavimentos flexíveis a mistura a quente, pois aquecido o betume, facilita a sua envolvimento com o resto dos materiais. Estas misturas têm como constituintes um ligante hidrocarbonado, agregados, filer e aditivos, fabricada de modo a que todas as partículas de agregado sejam cobertas com uma película de ligante. O seu processo de fabrico implica o aquecimento do ligante e dos agregados e a sua aplicação em obra é realizada a temperaturas significativamente superiores à temperatura ambiente.

Betume (aglutinantes)

O betume é uma mistura líquida de alta viscosidade, cor escura e facilmente inflamável, sendo formada por compostos químicos que tanto podem ocorrer na natureza como através da destilação do petróleo. Existem vários tipos de aglutinantes como o asfalto, alcatrão, rocha asfáltica, mas em termos de pavimentação rodoviária o que mais utilizado é o betume asfáltico.

O betume asfáltico é um aglutinante betuminoso obtido através da destilação direta dos crudes de petróleo. É uma mistura de hidrocarbonetos de peso molecular elevado, em forma de corpo viscoso mais ao menos elástico, de cor escura e facilmente inflamável. É composto por um elevado peso molecular de hidrocarbonatos saturados e contém em média 80% a 85% de carbono, 10% a 15% de hidrogénio e 2% a 3% de oxigénio. Contém ainda em menores quantidades enxofre, azoto, ferro, magnésio, cálcio, níquel e vanádio. Esta composição varia de acordo com a origem do petróleo bruto e com os tratamentos realizados no final do processo de produção. A altas temperaturas o betume comporta-se como um fluido, permitindo misturar-se com os agregados e a baixas temperaturas como um sólido elástico. Assim, a sua consistência varia muito com a temperatura, ficando mole quando aquece e endurece quando arrefece.

Aplicam-se principalmente para dar coesão e flexibilidade à mistura, garantindo maior qualidade. Através das suas fortes capacidades aglutinantes, unem-se às partículas dos agregados, aumentando a resistência aos esforços resultantes do tráfego, sem sofrer desagregações nem deformações. As propriedades mais importantes deste material são a penetração e a temperatura de amolecimento. A penetração é a capacidade do betume não ser penetrado, sendo testada em laboratório através do ensaio de penetração, consistindo na profundidade que uma agulha consegue penetrar numa amostra. Em relação à temperatura de amolecimento, também é testada em laboratório pelo ensaio do ponto de amolecimento através do método anel e bola, traduzindo a temperatura a que o betume amolece. Os tipos de betume existentes traduzem essas mesmas características, por exemplo, para o betume 35/50, o 35 é o valor de penetração mínima e 50, o valor de penetração máxima. A temperatura de amolecimento é padronizado e quanto maiores os valores da penetração, menor é a temperatura de amolecimento. Existe ainda outra propriedade não tão importante, mas que vale a pena realçar, o ponto de fragilidade de Fraass. Este avalia a suscetibilidade a baixas temperaturas, a determinação da rigidez e do ângulo de fase e ainda o módulo de fluência dinâmica. Estes aspetos são características relacionadas com o desempenho mecânico dos betumes e são avaliados em laboratório através do ensaio do ponto de rutura Fraass.

A seguinte tabela mostra os tipos de betume mais utilizados em pavimentação e as suas características.

Tabela 3 - Tipos de betume de Pavimentação, Propriedades e Exigências de Conformidade (LNEC, 1997)

Propriedades [Condições de ensaio]		Tipos de betumes e exigências de conformidades								
		Tipos	10/20	20/30	35/50	50/70	70/	100/	160/	250/
Penetração (0,1 mm) [25 °C, 100 g, 5s]	Mín.	10	20	35	50	70	100	150	220	330
	Máx.	20	30	50	70	100	150	220	330	
Temperatura de amolecimento método anel e bola (°C)	Mín.	63	55	50	46	43	39	35	30	
	Máx.	76	63	58	54	51	47	43	38	
Viscosidade cinemática (mm ² /s) [135 °C]	Min.	1000	530	370	295	230	175	135	100	
Solubilidade em tolueno ou xileno (%)	Min.	99	99	99	99	99	99	99	99	
Temperatura de inflamação (°C)	Min.	250	240	240	230	230	230	220	220	
Resistência ao endurecimento	Varição de massa (% , ±)	Máx.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0
	Penetração (% p.o.) [25 °C, 100 g, 5s]	Mín.	60	55	53	50	46	43	37	35
	Temp. amolecimento	Mín.	65	57	52	48	45	41	37	32
	Aumento da temperatura amolecimento (°C)	Máx.	8	10	11	11	11	12	12	12

Já a seleção das misturas betuminosas a utilizar em pavimentos rodoviários pode ser vista na seguinte tabela:

Tabela 4 - Principais Tipos de Misturas Betuminosas a Quente Aplicadas em Portugal Enquadradas nas Normas Europeias de Produto (CEPSA, 2007)

Camada	Designação e tipo de misturas		Observações
Base	AC 32 base (MB)	Betão Betuminoso	Aplicada em espessuras entre 0,10 e 0,15 m (a)
	AC 20 base (MB)	Betão Betuminoso	Aplicada em espessuras entre 0,05 e 0,09 m
	AC 20 base (MBAM)	Betão Betuminoso de alto módulo	Aplicada em espessuras entre 0,07 e 0,12 m
Regularização	AC 20 reg (MB)	Betão Betuminoso	Aplicada em espessuras variáveis
	AC 20 reg (MBD)	Betão Betuminoso	
	AC 14 reg (BB)	Betão Betuminoso	Aplicada em espessuras variáveis
	AC 4 reg (AB)	Betão Betuminoso	Aplicada em pequenas espessuras, variáveis
Ligação	AC 20 bin (MB)	Betão Betuminoso	Aplicada em espessuras entre 0,05 e 0,09 m
	AC 20 bin (MBD)	Betão Betuminoso	
	AC 16 bin (MBAM)	Betão Betuminoso de alto módulo	Aplicada em espessuras entre 0,06 e 0,09 m
	AC 14 bin (BB)	Betão Betuminoso	Aplicada em espessuras entre 0,04 e 0,06 m
	AC 4 bin	Betão Betuminoso	Aplicada em espessuras não superiores a 0,03 m
Desgaste	AC 14 surf (BB)	Betão Betuminoso	Aplicada em espessuras entre 0,04 e 0,06 m
	AC 14 surf (BBr)	Betão Betuminoso	Aplicada em espessuras entre 0,04 e 0,05 m
	AC 10 surf (mBBr)	Betão Betuminoso	Aplicada em espessuras entre 0,025 e 0,035 m
	PA 12,5 (BBd)	Betão Betuminoso Drenante	Aplicada em espessuras de 0,04 m

(a) Devido à elevada dimensão máxima do agregado, a utilização deste tipo de mistura conduz mais frequentemente a situações de segregação de materiais e consequente heterogeneidade da camada.

Agregado

O objetivo da utilização de agregados prende-se pelo facto de estes formem um esqueleto pétreo com elevada resistência devido ao imbricamento dos grãos entre si, para resistir às condições mais severas do tráfego. O agregado corresponde a cerca de 75% a 85% da mistura betuminosa do pavimento rodoviário e cerca de 90% a 95% de seu peso. As principais características dos agregados nas misturas betuminosas são:

- Granulometria
- Resistência
- Forma das partículas
- Limpeza
- Adesividade ao ligante.

Os agregados podem, contudo ser classificados em naturais ou britados. Os agregados naturais são materiais sedimentares obtidos por extração direta, já os britados são obtidos por fratura mecânica da rocha. Na figura seguinte ilustra-se o processo de obtenção de agregado britado.

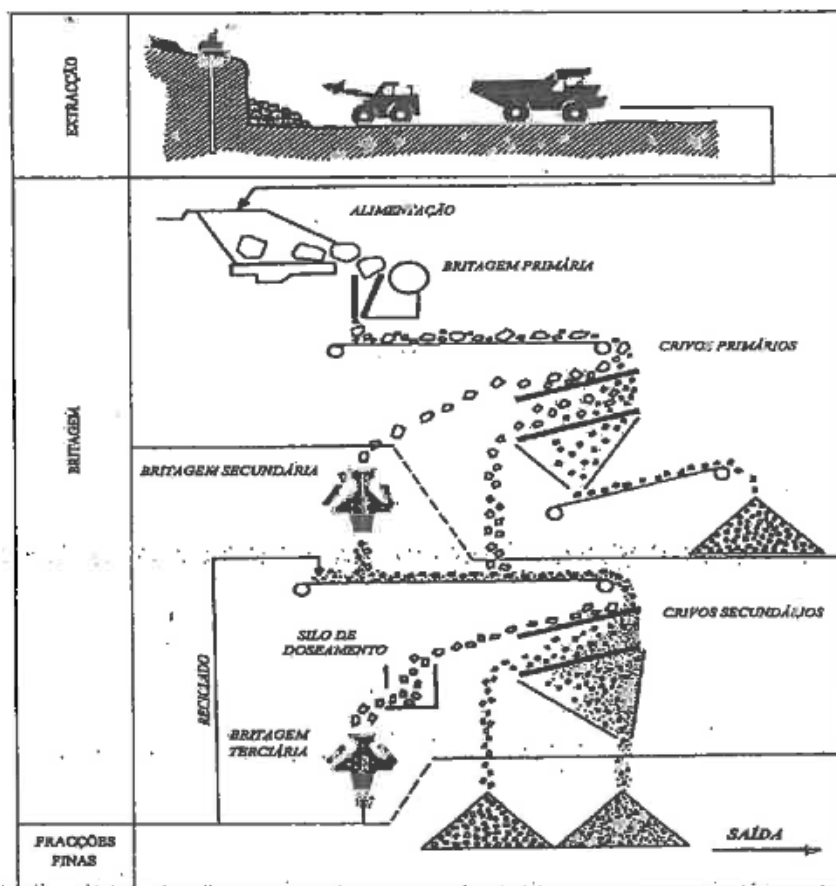


Figura 16 - Processo de Produção de Agregados por Britagem (adaptado Kraemer et al., 1996)

A determinação da granulometria é feita através da análise granulométrica por peneiração. Com a “curva granulométrica” é possível saber a distribuição das partículas por tamanhos e distinguir os materiais de maior dimensão dos mais finos. Com isto, procura-se na mistura vários agregados diferentes, finos e grossos, para obter uma curva granulométrica que se ajuste ao pretendido de modo a obter um esqueleto que distribua convenientemente as cargas em profundidade.

A resistência do agregado é determinada através do ensaio de “Los Angeles”, que determina o grau de desgaste, não devendo exceder um valor máximo correspondente ao tipo de mistura. Os materiais granulares devem ser duros, resistentes ao choque, ao atrito entre partículas e ao desgaste produzido pelo tráfego na superfície do pavimento

A forma das partículas do agregado deverá ser aproximadamente cúbica, caracterizando-se pelo índice de lamelação e índice de alongamento.

Os agregados deverão ser limpos e sem impurezas que prejudiquem o envolvimento com os ligantes. Este parâmetro mede-se através da realização do ensaio de equivalente de areia, ou através do ensaio de determinação do valor de azul-de-metileno.

Por último, quanto maior for a afinidade química do agregado para com o betume, mais difícil será separar este do agregado. Na seguinte tabela pode ver-se as especificações a ter com os agregados:

Tabela 5 - Especificações para Agregados a Aplicar em Camadas não Ligadas (CEPSA, 2007)

Propriedade [EN 13242]		Sub-base	Base	Regularização, Enchimento de bermas
		ABGE	ABGE	ABGE
Propriedades geométricas	Índice de achatamento (%)	F ₃₅	≤ 30	≤ 30
	Partículas esmagadas e partidas e partículas totalmente roladas ⁽¹⁾	C ₀₀₃	C ₀₀₂	C ₀₀₃
Qualidade dos finos ⁽²⁾	Equivalente de Areia (%) ou Azul de Metileno (g/kg)	SE ≥ 40 ou MB ≤ 2,5	SE ≥ 50 ou MB ≤ 2,0	SE ≥ 40 ou MB ≤ 2,5
Propriedades físicas	Resistência à fragmentação (%)	≤ 45	LA ₄₀	LA ₄₀
	Resistência ao desgaste por atrito (%)	M _{re35}	M _{re25}	M _{re25}
	Massa volúmica (Mg/m ³) e absorção de água (%)	A declarar		
Propriedades de alteração	"Sonnenbrand" do basalto	SB _{LA}	SB _{LA}	SB _{LA}
	Resistência ao gelo-degelo	WA ₂₅ ou MS ₂₅	WA ₂₅ ou MS ₂₅	WA ₂₅ ou MS ₂₅

(1) Aplicável apenas a seixo britado;

(2) A verificar apenas quando a % passada no # 0,063mm é superior a 3%

Ilustra-se de seguida os requisitos granulométricos a ter em conta nos agregados.

Tabela 6 – Requisitos Granulométricos para Misturas de Agregados a Aplicar em Camadas Não Ligadas (CEPSA, 2007)

Propriedades [EN 13285]			Sub-base	Base	Regularização ou enchimento de bermas
			ABGE	ABGE	ABGE
Designação			Mistura 0/31,5		
Conteúdo de finos máximo			UF ₇		
Conteúdo de finos mínimo			LF ₂		
Sobretamanhos			OC ₀₀		
Classe granulométrica			G ₃		
Fuso granulométrico	Abertura dos peneiros (mm)	Peneiros para a granulometria	Porcentagem acumulada de material passado		
	40		100		
	31,5	D	80 - 99		
	16	A	63 - 77		
	8	B	43 - 60		
	4	C	30 - 52		
	2	E	23 - 40		
	1	F	14 - 35		
	0,5	G	10 - 30		
0,063		2 - 7			

Filer

O filer é um material mineral inerte, finamente dividido, com cerca de 0,075 mm de diâmetro proveniente do pó calcário, cal hidratada e cimento Portland.

Numa mistura betuminosa, este material é utilizado no enchimento dos vazios, modificando a trabalhabilidade, a resistência à água e a resistência ao envelhecimento, agindo de forma ativa no mástique (combinação ligante betuminoso, filer e ar). As quantidades comuns usadas na mistura betuminosas estão entre 2% a 10%.

A qualidade do mástique influencia o comportamento mecânico da mistura betuminosa, estando diretamente relacionado com o fenómeno de fadiga, principal responsável

pela fissuração do pavimento rodoviário. Na seguinte tabela pode ver-se as características do filer:

Tabela 7 - Especificações para Fileres a Aplicar em Misturas Betuminosas a Quente (CEPSA, 2007)

Propriedades	Unidade	Requisitos
Massa volúmica das partículas	Mg/m ³	Valor declarado
Teor em água	%	≤1
Vazios do filer seco compactado (Rigden)	%	u28/38
Perda ao fogo das cinzas volantes	%	Amplitude valores declarados pelo produtor ≤ 6
Massa volúmica das partículas do filer comercial	Mg/m ³	Amplitude valores declarados pelo produtor ≤0,2
Massa volúmica aparente em querosene	Mg/m ³	Amplitude valores declarados pelo produtor entre 0,5 e 0,9
Ensaio Blaine	m ² /kg	Amplitude valores declarados pelo produtor ≤140
Qualidade dos finos – valor de azul metileno	g/kg	MBF10

De seguida apresenta-se uma tabela com os requisitos granulométricos do fíler em misturas betuminosas a quente.

Tabela 8 - Requisitos Granulométricos dos Fileres para Misturas Betuminosas a Quente (CEPSA, 2007)

Dimensão dos peneiros (mm)	Porcentagem acumulada de material que passa	
	Limites inferiores e superiores para resultados individuais	Amplitude máxima da granulometria declarada pelo produtor
2	100	-
0,125	85 -100	10
0,063	70 -100	10

Ar

Existe sempre uma quantidade de ar presente devido ao volume de vazios que não são preenchidos por qualquer um dos anteriores componentes. Este volume é inevitável, por muito tente ser eliminar ao máximo e por isso também merece ser contabilizado.

3.2.3. Agregados

Para camadas de agregados de pavimentos rodoviários, as características encontram-se no Cadernos de Encargos da EP – Estradas de Portugal, SA. O CETO (caderno de encargos tipo obra). Em geral, propõe a utilização de materiais pétreos, britados ou naturais.

Apesar de em alguns casos o material utilizado em sub-bases serem solos selecionados (só em tráfegos não muito severos), o mais utilizado é o agregado britado de granulometria extensa (ABGE). Este agregado apresenta algumas diferenças na seleção em relação ao agregado de misturas betuminosas. Como tal, o ABGE tem de cumprir certos requisitos:

- Percentagem de material retido no peneiro 19 mm menor ou igual a 30%
- Perda por desgaste na máquina de Los Angeles menor ou igual a 45%
- Equivalente de areia maior ou igual a 45%
- Se o equivalente de areia for inferior a 50%, o valor de azul-de-metileno corrigido (VASC) tem de ser menor que 25%, calculando através de: $VASC = VAS \times \frac{\%P\#200}{\%P\#10} \times 100$, onde VAS é o valor de azul-de-metileno obtido pelo método da mancha no material de dimensão inferior a 0,075 mm, %P#200 é percentagem acumulada que passa no peneiro nº200 ASTM, e %P#10 é percentagem acumulada no peneiro nº10 ASTM.

A sua composição granulométrica deve respeitar o fuso granulométrico do quadro seguinte:

Tabela 9 – Fuso Granulométrico para Sub-base ou Base em ABGE (Branco et al., 2006)

Abertura das malhas de peneiros ASTM	Percentagem acumulada do material que passa
37,5 mm (1 1/2")	100
31,5 mm (1 1/4")	75-100
19,0 mm (3/4")	55-85
9,5 mm (3/8")	40-70
6,3 mm (1/4")	33-60
4,75 mm (nº 4)	27-53
2,00 mm (nº 10)	22-45
0,425 mm (nº 40)	11-28
0,180 mm (nº 80)	7-19
0,075 mm (nº 200)	2-10

3.3. Degradação dos Pavimentos – Conservação e Reabilitação

Os pavimentos rodoviários logo após a sua construção e entrada em serviço, ficam sujeitos a ações de degradação que reduzem desde logo a sua qualidade inicial. Desta forma, desenvolve-se devido ao tráfego, um processo contínuo de repetição da aplicação das cargas (fenómeno de fadiga) e a ação contínua dos agentes climáticos, a chuva, o gelo, o vento, a radiação solar e a temperatura, que promovem a degradação dos materiais, reduzindo a capacidade resistente do pavimento. Estas degradações estão relacionadas entre si, influenciando o respetivo modo e velocidade de evolução. Assim, fruto das degradações, ocorrem dois tipos de interferência com a qualidade do pavimento, a qualidade estrutural e a qualidade funcional, que vão sendo reduzidas ao longo do tempo. Esta redução de qualidade é progressiva e com o tempo, se não houver qualquer tipo de intervenção conduzirá ao estado de ruína. A ruína de um pavimento dá-se, de um modo geral, quando a qualidade da superfície se reduz até um nível onde a circulação dos veículos deixa de ser segura e confortável.

Como se sabe, os pavimentos flexíveis podem ser divididos em camadas betuminosas e camadas de materiais granulares. Nos casos das camadas betuminosas, a evolução do desgaste

está relacionada sobretudo com o envelhecimento do ligante provocado pela ação da luz solar e das variações de temperatura. Estes atacam de forma mais severa nas camadas de desgaste, contribuindo para a fadiga do pavimento e para o aparecimento de fendilhamento. A ação da luz solar provoca um aumento da viscosidade do betume, reduzindo a rigidez, o que fragilizará a mistura betuminosa. As variações da temperatura determinam diferentes condições de solitação para a mistura betuminosa. Para temperaturas muito elevadas, a viscosidade do ligante aumenta, reduzindo a resistência da mistura e aumentando a aptidão para sofrer deformações plásticas. Para temperaturas muito baixas, a rigidez da mistura aumenta e assim aumenta a capacidade de suportar maiores esforços, mas torna a mistura mais frágil. Basicamente percebe-se que a temperatura condiciona a rigidez das camadas betuminosas e por consequente o comportamento como elemento estrutural do pavimento, que através das suas variações, fragilizam as camadas betuminosas, induzindo movimentos horizontais de abertura e fecho das fendas existentes no pavimento por retração térmica, contribuindo para um agravamento do estado de tensão. Existe ainda a considerar a ação dos produtos químicos derramados acidentalmente pelos veículos sobre a camada de desgaste como os combustíveis, que causam a desagregação da mistura betuminosa. Relativamente aos materiais granulares, incluindo o solo de fundação, estes são muito sensíveis à ação da água, pois esta tem o efeito de reduzir o atrito interno dos materiais granulares, diminuindo a coesão das camadas de sub-base e a capacidade de suporte. Logo, as várias camadas de um pavimento rodoviário trabalham como um todo, visto que as camadas superficiais (betuminosas) funcionam como uma “proteção” à camada de sub-base (materiais granulares). Assim, caso a camada superficial em betuminoso fique danificada por ação da temperatura ou outros fatores, abrindo fendas, permitirá a entrada de água, atuando na camada de sub-base e colocando em causa a segurança de circulação no pavimento. Por último, uma nota de referência ao tráfego, que contribui ao longo do tempo para o adensamento das camadas do pavimento e solo de fundação, onde a partir do desgaste mútuo da componente granular e pós-compactação do conjunto das camadas, contribui para a formação de assentamentos irreversíveis.

Um pavimento flexível apresenta ao longo da sua vida uma evolução que geralmente se traduz no aparecimento de uma ampla diversidade de degradações que contribuem para uma redução progressiva da qualidade do pavimento. As degradações mais relevantes baseiam-se no aparecimento de deformações permanentes e no desenvolvimento de fendilhamento nas camadas betuminosas. As principais causas das degradações são, por um lado, a intensidade de tráfego e as ações climáticas (fatores ativos de degradação), por outro as deficiências dos materiais e da qualidade de execução (fatores passivos de degradação).

Desta forma, é essencial elaborar um Programa de Acompanhamento da sua evolução, de modo a facilitar a decisão de intervir no sentido de repor ou melhorar a qualidade dos

pavimentos. Estas intervenções são caracterizadas por conservação/reabilitação de pavimentos rodoviários.

O objetivo da conservação é manter a qualidade funcional e estrutural do pavimento rodoviário ao longo do seu período de vida útil, procurando uma otimização dentro de determinados padrões de qualidade e com recursos financeiros viáveis. A diferença entre conservação e reabilitação está na qualidade final, já que a conservação tem por objetivo repor a qualidade, a reabilitação procura acrescentar qualidade em relação à inicial, sobrevalorizando o pavimento. Como é óbvio, a reabilitação tem a desvantagem de ser mais dispendiosa e com um tempo de intervenção prolongado.

Em Portugal, o crescimento da Rede Rodoviária que ocorreu nos últimos anos, aumentou muito a qualidade de vida dos portugueses. Hoje, os investimentos da construção de novas vias de comunicação estão a dar lugar a um crescimento nas áreas de conservação e reabilitação de pavimentos rodoviários. Isto acontece, pois as estradas necessárias ao desenvolvimento do país já estão construídas, e agora aponta-se para a sua manutenção. Assim, e pelo facto de ser inevitável uma intervenção futura nos pavimentos rodoviários em Portugal, crê-se um grande crescimento e desenvolvimento da área da conservação e reabilitação.

3.3.1. Tráfego

O tráfego é a carga que um pavimento está sujeito a receber, resultado do peso descarregado pelos veículos, que com o avolumar de tráfego vai deteriorando passar do tempo. O tráfego mais crítico e na qual se baseia o dimensionamento dos pavimentos são os veículos pesados, pois para além de apresentarem cargas muito superiores aos ligeiros e serem maiores, têm piores características operacionais, que se refletem em velocidades reduzidas. Este ainda mais agravado em rampas onde não seja possível ultrapassar, formando uma fila de veículos. As velocidades reduzidas proporcionam uma maior carga descarregado sobre o pavimento, porque quanto mais lento o veículo circular, maior é a componente vertical do peso do veículo e maior é o tempo de carga.

Para verificação do dimensionamento dos pavimentos considera-se o efeito do tráfego pesado acumulado através das cargas dos eixos e os respetivos números de passagens dos diversos veículos para o período de vida útil. Para simplificar os cálculos, transformam-se estes critérios no eixo-padrão equivalente. Geralmente usa-se eixos padrões de 80 kN para pavimentos flexíveis e de 130 kN para pavimentos semi-rígidos e rígidos.

Em termos de quantificação dos veículos pesados, estes são divididos por categorias e subcategorias, dependendo do tipo de eixos, do número de rodados e do tipo de ligação. A tabela seguinte representa a categoria pela sua silhueta.



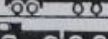
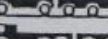
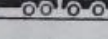
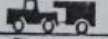

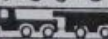
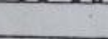




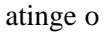
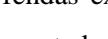
VEÍCULOS	
CAT	SILHUETAS
f 1	
f 2	
f 3	
q 1	
q 2	
q 3	
q 4	
q 5	
h 1	
h 2	
h 3	
h 4	
h 5	
h 6	
h 7	
l 1	
l 2	

Figura 17 - Subcategorias dos Veículos Pesados (Jacob, 2013)

3.3.2. Temperatura

A ocorrência de variações de temperatura nos pavimentos resulta da variação da temperatura do ar ao longo do dia com grande diferença entre o momento de maior calor em relação ao mais frio e da direta radiação solar que atinge o pavimento. Estas variações induzem movimentos horizontais de abertura e fecho das fendas existentes no pavimento por retração térmica, contribuindo para um agravamento do estado de tensão sobretudo aquando da passagem de cargas.

A temperatura que importa em fase de dimensionamento não é a temperatura do ar mas sim a temperatura de serviço, a que se faz sentir ao nível do pavimento. A temperatura de serviço é a causa da variação do módulo de rigidez com a profundidade, que por sua vez irá influenciar o desempenho do pavimento.

3.3.3. Patologias do pavimento rodoviário

Existem vários tipos de patologias que podem aparecer no pavimento, cada uma com a sua origem e gravidade. No mesmo troço podem aparecer vários tipos de patologias, sendo que estas funcionam em cadeia, uma patologia origina outra. As primeiras patologias sofridas pelo pavimento são quase sempre superficiais, normalmente fendas, que ao evoluírem, passam a afetar a parte estrutural. Um dos grandes fatores que contribui para a degradação dos pavimentos rodoviários é sem dúvida a água da chuva, que através do desgaste da camada

superficial, penetra nas camadas betuminosas atingindo a sub-base. Como a sub-base é normalmente em agregados compactados, a água vai destruir as ligações existentes entre os grãos, descompactando a sub-base e reduzindo a capacidade de suporte. De seguida são apresentadas os tipos de patologias mais comuns e as possíveis causas do seu aparecimento, com base no “Manual de Pavimentação” da CEPSA, 2007.

Fendilhamento:

Pele de Crocodilo:

- Fendilhamento por fadiga da camada de desgaste devido à ação do tráfego e ao envelhecimento;
- Deficiência de capacidade de carga ou de espessura do pavimento;
- Evolução de fendilhamento de malha larga

Malha larga:

- Deficiência da espessura ou fadiga das camadas;
- Deficiência da capacidade de carga do pavimento;
- Má qualidade de algumas das camadas do pavimento.



Figura 18 - Pele de Crocodilo (Souza, 2004)



Figura 19 – Malha Larga (Souza 2004)

Fenda longitudinal no eixo da faixa:

- Mau acabamento da junta de construção da camada superior;
- Reflexão da fenda longitudinal da camada de base;
Diferenças de profundidade das zonas geladas devido ao efeito isolante da neve acumulada na zona da berma.

Fenda longitudinal lateral:

- Fadiga devido às ações do tráfego
- Deficiências de acabamento de junta longitudinal
- Reflexão de fendas ou de junta de construção das camadas inferiores;
- Assentamentos diferenciais, nos casos em que se realizaram alargamentos.



Figura 20 – Fenda Longitudinal no Eixo da Faixa (Souza, 2004)



Figura 21 – Fenda Longitudinal Lateral (Jacob, 2013)

Fenda transversal:

- Retração térmica da camada de desgaste;
- Retração de camadas tratadas com ligantes hidráulicos;
- Má execução da junta transversal.

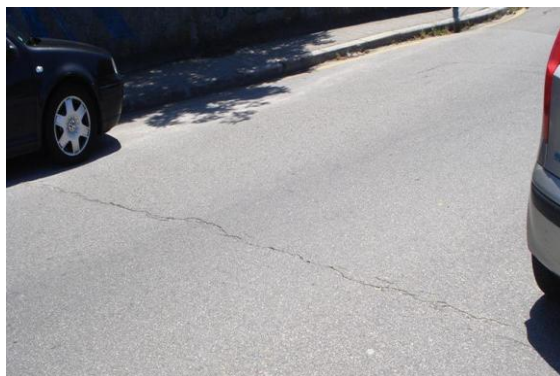


Figura 22 - Fenda Transversal (Jacob, 2013)

Deformações

Rodeiras:

- Misturas betuminosas com resistência à deformação permanente insuficiente (devido à utilização de ligantes demasiado moles, ou à má qualidade dos
- Agregados ou filer ou a deficiência de formulação), em combinação com tráfego pesado, lento e canalizado e temperaturas elevadas;
- Deficiência de compactação de carga.

Pavimento Ondulado:

- Assentamentos diferenciais da fundação;
- Deficiente estabilidade das misturas betuminosas;
- Deficiências de qualidade ou de aplicação em obra da camada de desgaste.



Figura 23 – Rodeiras (Souza, 2004)



Figura 24 – Pavimento Ondulado (Jacob, 2013)

Deformação Localizada:

- Degradação das camadas inferiores num local específico;
- Deficiências locais de construção ou contaminação local;
- Rotura de canalização;
- Falta de drenagem devida a ausência ou rotura dos órgãos de drenagem.



Figura 25 – Deformação Localizada (Souza, 2004)

Desprendimentos e exsudações

Exsudações de betume:

- Excesso de ligante;
- Compactação excessiva de misturas ricas em mástique e ligante;
- Temperatura de compactação demasiado elevada.

Desprendimento de Agregados:

- Falta de adesividade entre agregados e ligante;
- Ligante envelhecido e muito duro;
- Deficiente dosagem de ligante;
- Falta de compactação da camada de desgaste;
- Abertura de tráfego precoce.



Figura 26 – Exsudação de Betume (Souza, 2004)



Figura 27 – Desprendimento de Agregados (Souza, 2004)

Polimento dos agregados:

- Polimento dos agregados pela ação do tráfego

Desagregação superficial:

- Separação da película de ligante e dos agregados, devido à ação da água ou de produtos químicos ou a ações mecânicas;
- Envelhecimento do ligante;
- Deficiências construtivas (segregação, má formulação, sobreaquecimento da mistura, entre outros);
- Decomposição dos agregados.



Figura 28 – Polimento de Agregados (Souza, 2004)



Figura 29 – Desagregação Superficial (Jacob, 2013)

Ninho:

- Evolução de outras degradações, com desagregação e arranque de materiais produzidos pelo tráfego;
- Imperfeições locais.

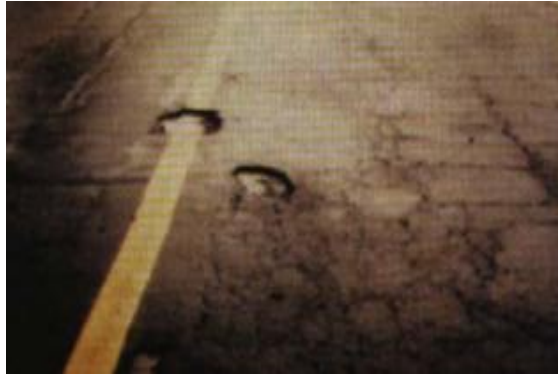


Figura 30 – Ninho (Souza, 2004)

Na tabela seguinte pode ver-se a relação “causa-efeito” entre os diferentes tipos de degradações (efeitos) e os vários fatores de degradação (causas) através de um determinado número de asteriscos. Uma relação “causa-efeito” de três asteriscos é a considerada mais forte, enquanto um asterisco mais fraco. Estas relações foram deduzidas através da observação sistemática de pavimentos em serviço, bem como da análise detalhada do comportamento de trechos experimentais. O objetivo desta classificação é apenas de estabelecer uma indicação da proximidade de relação de relação das patologias com os fatores de degradação.

Tabela 10 - Relação Causa-Efeito das Patologias (Branco et al., 2006)

DEGRADAÇÕES	FACTORES DE DEGRADAÇÃO									
	Condições de drenagem	Sub-dimensões da camada de desgaste	Sub-dimensões das camadas inferiores	Capacidade de suporte da fundação	Qualidade dos materiais	Deficiências de fabrico e execução	Ligação entre camada de base e de desgaste	Agressividade do tráfego	Ações climáticas	Camadas estruturais de reduzida compactade
Deformações	***	*	**	***	*	**		*	*	***
Rodeiras	***	*	**	***	**	*		**	**	***
Fendas	**	**	**	**	***	**	**	***	***	***
Fendas parabólicas	*	**			**	**	***	***	**	**
Pele de crocodilo	**	**	**	**	***	**	**	***	***	***
Pelada		***	*		**	**	***	***	**	**
Ninhos		**	*		***	***	**	**	**	***
Cabeça de gato					***	**		***	*	**
Desagregação superficial					***	***		**	***	**
Exsudação					***	**		***	***	

*** - Muito importante; ** - Importante; * - Pouco Importante

4. Informação Recolhida para o Estudo do Pavimento Rodoviário

4.1. Intercâmbio com a Câmara Municipal de Valongo

A realização deste projeto de reabilitação só seria possível com a ajuda da Câmara Municipal de Valongo, que tutela a presente estrada. Era fundamental ter sua a autorização para a realização deste projeto e a execução de alguns trabalhos (retirar carotes, fotos...), visto esta ser uma infra-estrutura pública e municipal. Para além disso era essencial ter acesso a um conjunto de informações que permitissem fazer um estudo aprofundado sobre o pavimento, tais como projetos anteriores, cartas cartográficas e topográficas, mapas, constituição do pavimento, entre outros. Assim, para discutir estes pormenores, agendou-se uma reunião com o vice-presidente da Câmara de Valongo, srº José Augusto Sobral Pires, responsável pela urbanização e obras municipais e com a engenheira Ana Paula Marques, responsável pelo departamento de Vias de Comunicação. O assunto foi proposto e discutido, sendo no final da reunião concedida a autorização pelo vice-presidente para a elaboração do projeto de reabilitação e o fornecimento de toda a informação disponível e necessária. O assunto ficou então ao cargo da engenheira Ana Paula Marques que disponibilizou a engenheira Jacinta Moreira do departamento de Vias de Comunicação, ficando esta responsável pela ligação entre a Câmara de Municipal de Valongo e o aluno. Por fim, foi notório que os responsáveis da Câmara de Municipal de Valongo estavam satisfeitos, pois este projeto poder-lhes-á ser útil, visto se tratar de um dos pavimentos mais crítico de todo o concelho, onde será inevitável uma intervenção de melhoramento num futuro próximo, podendo ser aproveitado todo o estudo que for desenvolvido.

4.2. Descrição do Pavimento a Reabilitar

O pavimento em causa situa-se no concelho de Valongo, sendo abrangido por 3 ruas, Rua de Vilar, Rua de Cabeda e Rua Dom Pedro IV, com uma extensão total de 4,8 km. Trata-se de um pavimento flexível com tráfego intenso e de enorme importância para o concelho, caracterizado por ser o principal meio de ligação entre a freguesia de Alfena e o centro do município de Valongo. Contudo, não é apenas importante para os residentes de Alfena, mas também para residentes de outras localidades, fora do concelho, que utilizam diariamente esta estrada. Para além disso, trata-se de um importante meio de circulação de veículos pesados da zona industrial de Alfena.

A freguesia de Alfena pertence ao concelho de Valongo, distrito do Porto. Na seguinte figura pode ver-se a localização de Alfena em relação a Portugal Continental, assinalada com uma bola a vermelho e nos arredores do centro da cidade do Porto.



Figura 31 – Localização de Alfena

Relativamente à localização da Estrada Municipal 607, esta localiza-se no concelho de Valongo, estando representada na figura 32 a vermelho.

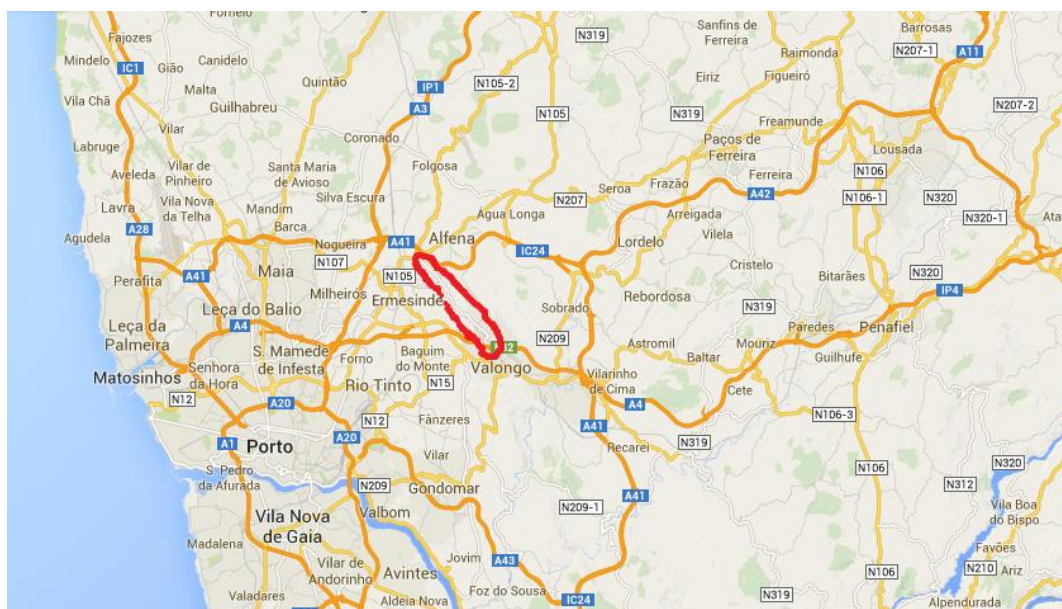


Figura 32 – Localização da EM 607

aplicação de uma camada betuminosa sobre o pavimento já existente. Foi aplicada uma rega de colagem com emulsão catiónica do tipo ECR-1 à taxa de $1,5 \text{ kg/m}^2$. Sobre o anterior pavimento não existe qualquer informação, justificando-se retirar carotes para uma melhor caracterização deste pavimento. Para tentar completar a informação anterior, interrogou-se a Junta de Freguesia de Alfena, que não tendo qualquer documento comprovativo esclareceu através dos conhecimentos dos seus funcionários, que o anterior pavimento ao do projeto de 1993 era em paralelos (cubos de granito), tendo sido colocada a camada betuminosa por cima dos blocos de granito. Esta é uma técnica que atualmente já não se usa.



Figura 34 – Peças Desenhadas da Rua de Vilar

O segundo pavimento (Rua de Cabeda e Rua D. Pedro IV) foi construído em 1999 e tal como o primeiro pavimento, até aos dias de hoje não sofreu qualquer tipo de intervenção, exceto tapagem de concavidades e fendas que apareceram ao longo dos anos. Apesar de este pavimento ser mais recente, com 15 anos de serviço, continua longe daquilo que é o aceitável quanto ao período de intervenção e tal como no primeiro pavimento necessita de uma intervenção. A sua constituição é duvidosa, tendo duas camadas, uma de sub-base de tout-venant (ABGE) com 30 cm de espessura, executada em duas camadas de 15 cm e uma camada superficial de rolamento em mistura betuminosa a quente com 10 cm aplicada de uma só vez. Teoricamente é incorreto aplicar de uma só vez a camada betuminosa de 10 cm, devendo ser aplicada 5 cm de cada vez para uma melhor compactação. Assim, percebe-se desde logo, um potencial problema originado por má compactação. Existe também uma rega de impregnação entre as duas camadas anteriores de ECL-1 $1,5 \text{ kg/m}^2$, não existindo mais informações pormenorizadas em relação à mistura betuminosa. A faixa de rodagem tem 7 metros, 3,5 metros para cada via, tendo a berma da direita um 1 metro e a da esquerda dimensões variáveis. Em relação ao contrato, este foi celebrado entre a Câmara Municipal de Valongo e a empresa adjudicatária Alberto Couto Alves, LD^a de Vila Nova de Famalicão. O contrato foi denominado “Contrato da Empreitada de Pavimentos da Rua D. Pedro IV e Rua de Cabeda (EM 607) – troço compreendido entre a Rua Gandra da Paciência e o cruzamento de Cabeda, em Valongo”, sendo

pago pela Câmara Municipal de Valongo ao empreiteiro pelo seu serviço uma quantia de 42.810.000\$. Existem também, 4 aquedutos com diâmetros de 400, 600 e 800 mm. Antes da construção deste pavimento, a estrada era constituída por blocos de granito que foram substituídos para colocação do pavimento atual. A seguinte figura mostra uma fotografia do documento em causa.

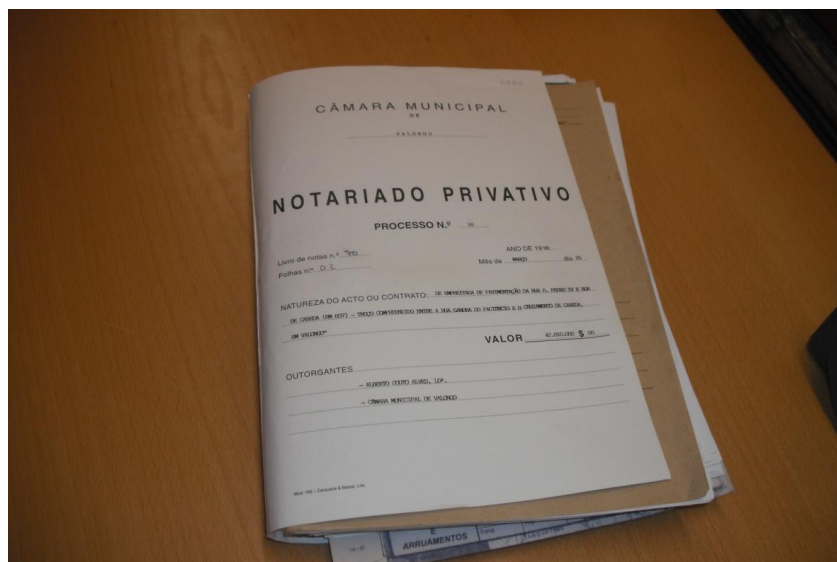


Figura 35 – Projeto da Rua de Cabeda e D. Pedro IV

Ambos os projetos realizados são antigos e apresentados em papel. Não existe qualquer tipo de suporte informático. As peças desenhadas são também em papel e foram desenhadas “à mão”. A seguinte figura ilustra as peças desenhadas da Rua D. Pedro IV.

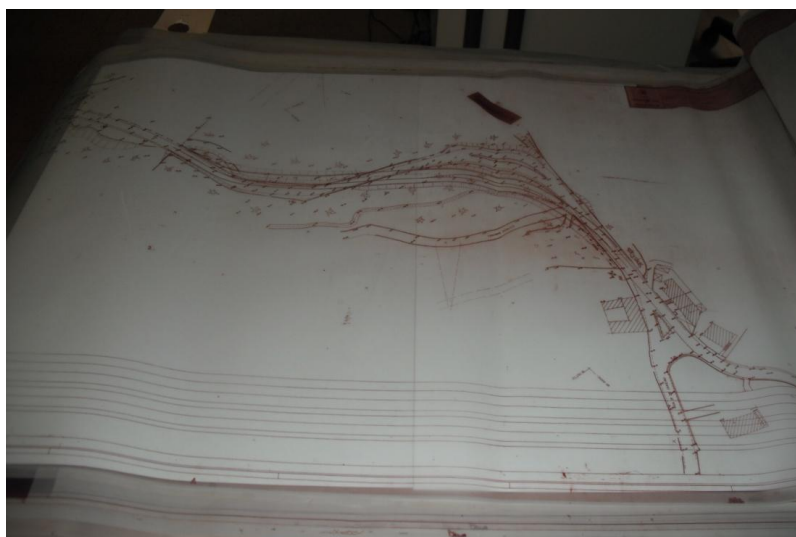


Figura 36 – Peças Desenhadas da Rua D. Pedro IV

Já a figura 37 ilustra as peças desenhadas da Rua Cabeda, estas guardadas no Museu de Valongo.



Figura 37 – Peças Desenhadas da Rua de Cabeda

Por último, foi também fornecido pela Câmara Municipal de Valongo a planta do Concelho em AutoCad e um ficheiro com a Carta Militar do Concelho de Valongo com as cotas e respetivas linhas de águas. A Carta Militar é visível na seguinte figura onde assinala a vermelho o pavimento em estudo.

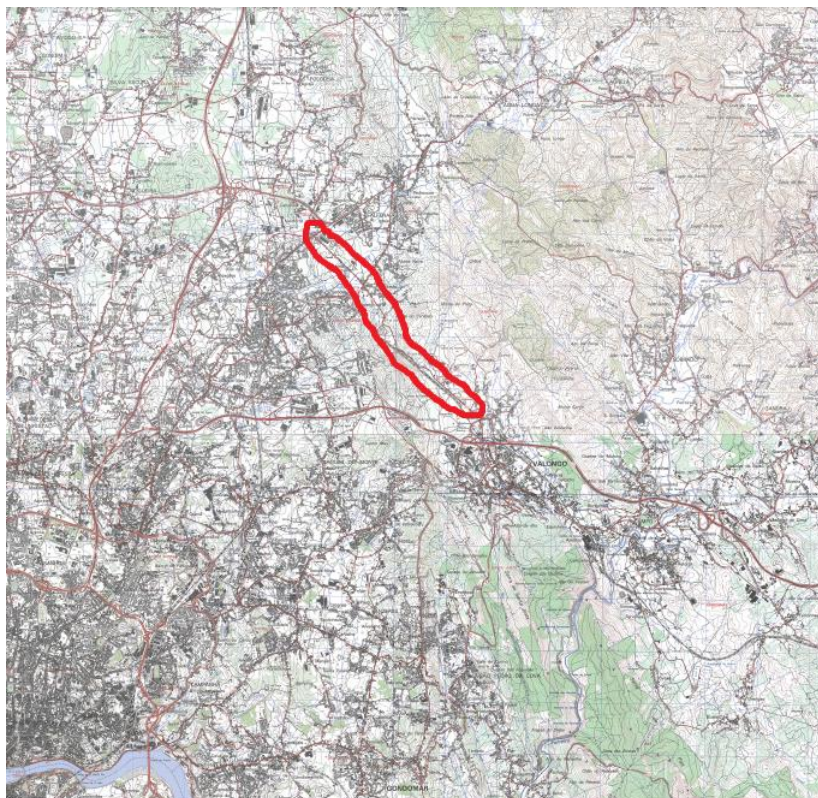


Figura 38 – Carta Militar do Concelho de Valongo

Relativamente ao pavimento, este apresenta-se num estado de degradação bastante elevado. Questionado aos moradores, estes referem que este pavimento já se encontra numa situação de elevada detioração á alguns anos, com fissuras superficiais, deformações localizadas e concavidade em grande parte da sua extensão. A circulação é feita com bastante dificuldade e com condições de segurança pouco cómodas. As velocidades de circulação têm de ser reduzidas

sob pena de não danificar a viatura em alguma concavidade ou outro tipo de patologia. Em dias de chuva a circulação é ainda mais afetada pois existe uma enorme dificuldade do pavimento em fazer o escoamento superficial. Nessas alturas existe uma grande acumulação de água superficial que condiciona a circulação e aumenta o risco de derrapagem.

4.3. Conclusão das Informações Recolhidas Sobre o Pavimento Rodoviário

A informação recolhida na Câmara Municipal de Valongo é antiga e escassa. Os projetos foram a principal fonte informativa sobre a constituição do pavimento mas levantam algumas dúvidas, desde logo a constituição do pavimento na Rua de Vilar e a compactação dos 10 cm da mistura betuminosa na Rua de Cabeda e D. Pedro IV de uma só vez. As metodologias são antiquadas e já não se usam atualmente.

As informações obtidas não são esclarecedoras sobre a constituição deste pavimento, tornando-se necessário recorrer a outros métodos como retirar carotes para analisar as camadas betuminosas existentes.

5. Análise do Pavimento Existente

5.1. Reconhecimento do Pavimento

A primeira etapa do trabalho foi designada de trabalho de campo, consistindo numa análise pormenorizada do pavimento rodoviário existente. Para isso, numa primeira fase foram necessárias várias deslocações ao local, com intuito de identificar as patologias que este possui. Com auxílio de uma máquina fotográfica e apontamentos, fez-se todo o trajeto a pé, identificando e fotografando todas as patologias ao longo do pavimento. Com este passo, obtiveram-se as patologias mais relevantes e a sua localização, onde foi possível, numa primeira apreciação ter uma noção do estado de degradação do pavimento e da sua gravidade. Concluiu-se que este pavimento rodoviário já se encontrava num estado de degradação muito crítico, apresentando grandes patologias superficiais e estruturais, onde os veículos circulam em mau estado. Finalizou-se esta primeira fase de identificação das patologias com uma filmagem ao pavimento a uma velocidade de 40 Km/h, sendo feita nos dois sentidos. Nesta gravação, facilmente se percebe o panorama do pavimento e as más condições de circulação do condutor.

5.2. Elaboração do Inventário

Com as patologias identificadas passou-se para a próxima etapa, identificar todos os constituintes do pavimento, criando assim um inventário. Para isso, procurou-se no *Google Earth* a estrada alvo do trabalho e imprimiu-se dividida em várias partes. Voltando ao local do pavimento e fazendo de novo o percurso a pé, foi-se identificando todos os constituintes do pavimento e apontando-os de imediato no local da imagem impressa. Identificaram-se as tampas designadas por saneamento básico (esgotos, saneamento e residuais), tampas de águas pluviais, tampas de ramal de ligação (fazem a ligação com as casas), as sargetas e válvulas de abastecimento. Para além dos componentes ligados à circulação da água, foram identificados os serviços de energia como as caixas de telecomunicações, os postes de iluminação, os postes de eletricidade, semáforos e as tampas de gás. Este trabalho foi extenso e pormenorizado, sendo necessário vários dias de ida ao local. Com o inventário completo, passou-se essa informação para o *AutoCad*, utilizando a planta cartográfica fornecida pela Câmara de Municipal de Valongo. Desenhou-se e identificaram-se em várias *layeres* todos os serviços referidos.

No sentido de ajudar a uma melhor identificação do local, criou-se uma imagem pormenorizada da estrada e arredores. Para isso foram geradas diversas imagens pormenorizadas no *Google Earth Professional* a 500 metros de altitude ao longo do trajeto do pavimento, fez-se a união das imagens em apenas uma através do programa *Microsoft Image Composite Editor* (ICE) e adicionou-se no *AutoCad*. Ajustando à escala, colocou-se em sobreposição com o desenho de projeto da estrada numa *layer* e ajustou-se a imagem à planta

cartográfica. Assim foi possível ter a imagem do pavimento e das habitações em conjunto com a planta da Câmara Municipal de Valongo, facilitando a elaboração do inventário. Fez-se o mesmo processo com a carta militar. Criou-se de igual forma uma imagem única de Alfena com uma altitude de 1,5 metros, desta vez menos pormenorizada, funcionando apenas como um complemento, contento as habitações em volta do pavimento. A imagem do pavimento representada na figura 39 foi impressa em partes com os respetivos desenhos do inventário e voltou-se ao local para fazer retificações.

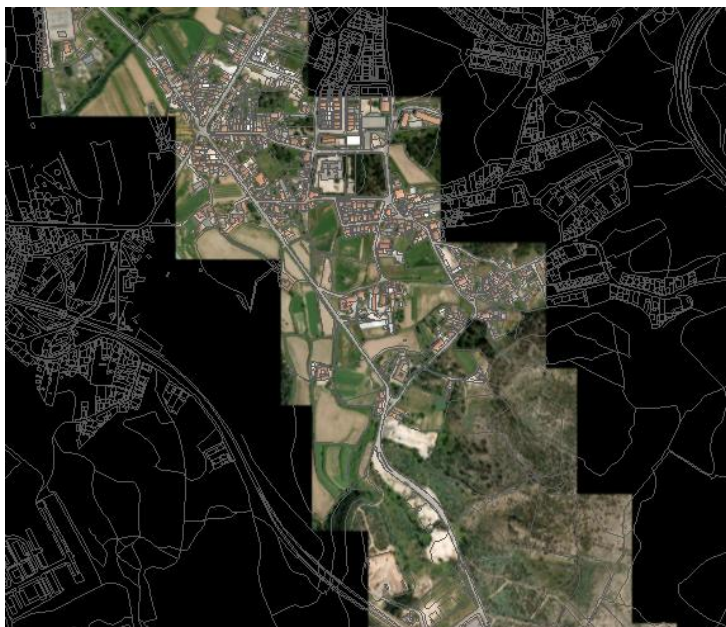


Figura 39 – Troço da Planta em *AutoCad* com a Imagem do *Google* a 500m Sobreposta

Percorreu-se de novo o pavimento de início ao fim, comparando os desenhos impressos com o pavimento e certificando que os objetos estavam bem assinalados. O que não estivesse correto ou em falta era retificado para posteriormente ser corrigido. Ao longo deste percurso foi também alvo as valetas, que seriam desenhadas em *AutoCad* numa *layer* e as passagens hidráulicas, que com auxílio de uma fita métrica mediu-se o diâmetro. Nem todas as passagens hidráulicas foram identificadas devido à forte vegetação que impediu o acesso até as bocas.

Com todos os constituintes do pavimento devidamente assinalados, para concluir a segunda etapa geometrizou-se o eixo do pavimento com alinhamentos retos concordados com curvas circulares simples. O eixo do pavimento pode ver-se na seguinte figura, que ilustra um pequeno troço em alinhamento reto e curva, onde o eixo da estrada está assinalado a vermelho.



Figura 40 – Troço da Planta em AutoCad com o Eixo da Estrada

No total identificaram-se 200 caixas de abastecimento, 67 caixas de águas pluviais, 135 caixas de águas residuais, 150 caixas de ramal de ligação, 95 caixas e postes de eletricidade, 8 caixas de gás, 142 postes de iluminação, 204 sargetas, 10 semáforos e 50 caixas de telecomunicações, como se pode ver resumidamente na seguinte tabela.

Tabela 11 – Inventário dos Serviços Afetados

Inventário	
Componentes	Numero
Caixas de Abastecimento	200
Caixas de Águas Pluviais	67
Caixas de Águas Residuais	135
Caixas de Ramal de Ligação	150
Caixas/Postes de Eletricidade	95
Caixas de Gás	8
Postes de Iluminação	142
Sargetas	204
Semáforos	10
Caixas de Telecomunicações	53
<i>Total</i>	<i>1064</i>

Por último, foi desenhado em *AutoCad Civil 3D* o perfil longitudinal do pavimento que pode ser visto nos desenhos 1, 2, 3 e 4 dos anexos.

5.3. Identificação das Patologias e Preliminares Soluções

5.3.1. Rua de Vilar

Esta rua corresponde ao início do pavimento a reabilitar. O seu pavimento apresenta uma grande variedade de patologias superficiais, mas é também caracterizada por patologias estruturais principalmente devido ao efeito da infiltração da água. Tem uma extensão total de 1350 metros e a sua análise foi dividido em troços de 200 em 200 metros. Apresenta-se de seguida uma figura com o pavimento devidamente quilometrado.



Figura 41 – Rua de Vilar Quilometrada

Troço 0+0 – 0+200

Nível de Degradação: Médio

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, malha larga, ninhos, desagregação superficial, ondulações e fendas longitudinais.

Observações: Na figura 42 é possível ver um caso de desagregação superficial originada pela descarga de água para o pavimento. A descarga é feita por um tubo que pressupõe-se estar ligado a uma habitação. A água ao atingir o pavimento sofre uma pressão dos veículos que acabaram por causar a desagregação do pavimento naquela zona.



Figura 42 - Desagregação Superficial



Figura 43 - Fendas Longitudinais e Ninho



Figura 44 - Ondulações



Figura 45 - Pele de Crocodilo

Troço 0+200 – 0+400

Nível de Degradação: Alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, desagregação superficial, ninhos, malha larga, ondulações e deformações localizadas.

Observações: A figura 49 mostra um ninho no pavimento junto ao passeio. Esta patologia foi causada por um conjunto de fissuras que deu origem a uma desagregação localizada profunda na camada betuminosa. Existe ainda ondulações, figura 46, causadas por água subterrânea na sub-base devido a infiltrações.



Figura 46 - Ondulações



Figura 47 - Deformações Localizadas



Figura 48 - Desagregação Superficial



Figura 49 - Ninhos

Troço 0+400 – 0+600

Nível de Degradação: Alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, ninhos, desagregação superficial e fendas transversais.

Observações: Na zona do cruzamento entre duas estradas existe uma parte de pavimento pertencente a outra estrada que não é alvo deste trabalho, mas que devido ao seu mau estado foi decidido englobar neste projeto de reabilitação. É possível ver na figura 50 o seu estado, apresentando pele de crocodilo e desagregação superficial. A origem destas patologias deve-se ao facto de as duas estradas terem inclinações que escoam a água na mesma direção, concentrando-a no mesmo local que, através da inclinação transversal do pavimento acumula a água junto da sargeta apresentada na imagem. Desde logo esta sargeta apresenta um problema por estar a uma elevação superior ao pavimento quando deveria ser inferior e devido ao acumular de resíduos na grelha da sargeta reduz a área de entrada de água. Com isto, em dias de chuva há um acumular de água naquele local e com a passagem dos veículos originou uma pressão da água sobre o pavimento, abrindo pequenas fissuras que com o tempo degradaram-se cada vez mais.



Figura 50 - Zona não Pertencente ao Projeto



Figura 51 - Ninhos



Figura 52 - Pele de Crocodilo

Troço 0+600 – 0+800

Nível de Degradação: Alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, ninhos, desagregação superficial e malha larga.

Observações: As figuras 53 e 55 mostram uma pele de crocodilo bastante avançada, originada pela fadiga do pavimento. A fadiga do pavimento é o resultado do tráfego pesado e intenso e dos agentes erosivos e climáticos. A ação da água é também importante para alastrar as fissuras existentes criando ninhos como mostra a figura 53.



Figura 53 - Pele de Crocodilo e Ninhos



Figura 54 - Fissuras Superficiais



Figura 55 - Malha Larga



Figura 56 - Pele de Crocodilo

Troço 0+800 – 1+000

Nível de Degradação: Muito Alto

Patologias: Fissuras superficiais, fissuras longitudinais profundas, pele de crocodilo, ninhos, desagregação superficial e malha larga.

Observações: Este troço de pavimento afigura-se muito crítico com graves patologias e bem visíveis. A figura 58 apresenta uma fenda longitudinal lateral profunda, causada pela ação do tráfego e dos agentes erosivos, mas também poderá estar na sua origem assentamentos diferenciais no solo de fundação e infiltração da água nas camadas estruturais



Figura 57 - Desagregação Superficial



Figura 58 - Fendas Longitudinais



Figura 59 - Ninhos



Figura 60 - Pele de Crocodilo

Troço 1+000 – 1+200

Nível de Degradação: Alto

Patologias: Fissuras superficiais, longitudinais, pele de crocodilo, ninhos, deformações localizadas e desagregação superficial

Observações: O início deste troço apresenta-se crítico com algumas grandes patologias. Existem duas fendas longitudinais, na figura 64, causada pela abertura de valas mal tapadas originando duas superfícies diferentes. As figuras 61 e 63 mostram pele de crocodilo bastante avançada fruto da fadiga do pavimento.



Figura 61 - Pele de Crocodilo



Figura 62 - Ninhos



Figura 63 - Degradação Superficial



Figura 64 - Fendas Longitudinais

Troço 1+200 – 1+300

Nível de Degradação: Muito Alto

Patologias: Fissuras superficiais, longitudinais e transversais, pele de crocodilo, malha larga, ninhos, deformações localizadas e degradação superficial.

Observações: Este troço de pavimento é caracterizado por deformações localizadas, figura 67, bastante acentuadas originadas por água na sub-base, causando assentamentos na camada granular e por consequente nas camadas betuminosas. É visível também na figura 68 uma fenda transversal causada pela ligação de dois tipos de pavimentos diferentes e aplicados em momentos diferentes.



Figura 65 - Fendas Longitudinais



Figura 66 - Pele de Crocodilo



Figura 67 - Deformações Localizadas



Figura 68 - Fendas Transversais

Troço 1+300 – 1+350

Nível de Degradação: Baixo

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo e ninhos.

Observações: Trata-se de um pavimento recente, que apresenta muito poucas patologias.



Figura 69 - Pele de Crocodilo



Figura 70 - Ninos

5.3.2. Rua de Cabeda

Esta rua é a mais crítica em termos de patologias, apresentando um nível de degradação muito elevado ao nível superficial e estrutural. Em certos troços o pavimento encontra-se completamente fragmentado com fissuras muito evoluídas e graves patologias causadas pela infiltração de água na sub-base. Os troços estão divididos em geral de 150 metros em 150 metros e esta rua tem uma extensão total de 1750 metros. A seguinte figura mostra o pavimento devidamente quilometrado.

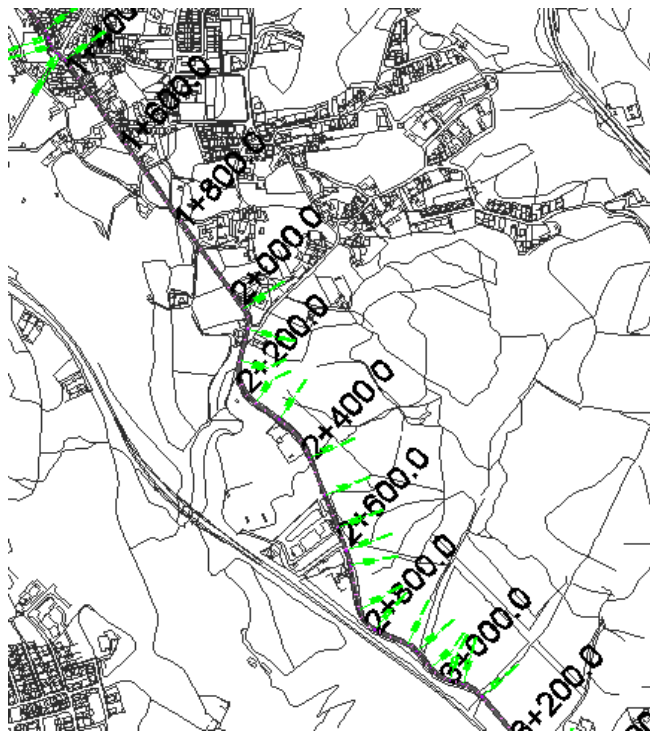


Figura 71 – Rua de Cabeda Quilometrada

Troço 1+350 – 1+550

Nível de Degradação: Muito Baixo

Patologias: Fissuras superficiais.

Observações: Troço com muito poucas patologias visíveis mostrando-se em boas condições de circulação, apresentando apenas algumas fissuras superficiais.



Figura 72 - Fissuras Superficiais



Figura 73 - Fissuras Superficiais

Troço 1+550 – 1+650

Nível de Degradação: Muito alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, ninhos, malha larga, desagregação superficial e deformações localizadas.

Observações: Troço de pavimento em bastante mau estado com patologias bem desenvolvidas. A figura 76 é exemplo deste nível de degradação, com pele de crocodilo e desagregação superficial. Estas patologias foram causadas pela pressão exercida da água sobre o pavimento

que, quando pressionados pelo peso dos veículos exercem pressão sobre a água que por sua vez exerce pressão sobre o pavimento, contribuindo para o alargamento das fissuras já existentes e causadas pela fadiga do pavimento.



Figura 74 - Degradação Superficial



Figura 75 - Pele de Crocodilo e Malha Larga



Figura 76 - Pele de Crocodilo e Degradação Superficial



Figura 77 - Deformações Localizadas

Troço 1+650 – 1+800

Nível de Degradação: Muito alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, ninhos, malha larga, deformações localizadas e rodeiras.

Observação: Troço de pavimento com elevado nível de degradação e com patologias bem acentuadas. A figura 79 ilustra uma deformação localizada bem desenvolvida, com diferentes níveis no pavimento. Esta deformação localizada desenvolveu uma fenda longitudinal com uma elevação do pavimento, sendo uma zona propícia de acumulação de água, pois a drenagem superficial é deficiente. Este tipo de patologia foi originado por desagregação das camadas inferiores causada por infiltrações da água superficial pelas fissuras já existentes.



Figura 78 - Rodeiras

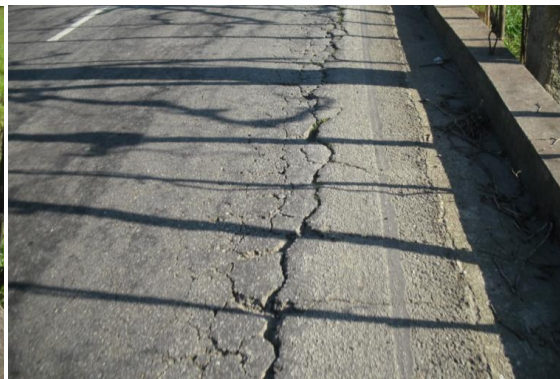


Figura 79 - Deformações Localizadas



Figura 80 - Degradação Superficial

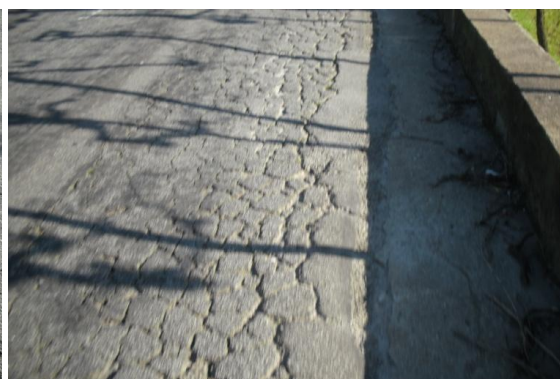


Figura 81 - Pele de Crocodilo

Troço 1+800 – 1+900

Nível de Degradação: Muito alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, ninhos, malha larga, deformações localizadas e rodeiras.

Observações: Troço com patologias bem visíveis e bem desenvolvidas. Supõe-se que neste pavimento as suas camadas betuminosas estejam completamente degradadas pela infiltração das águas superficiais que têm grande facilidade em penetrar as camadas superficiais por estas apresentam fissuras muito desenvolvidas, figura 82.



Figura 82 - Pele de Crocodilo e Malha Larga

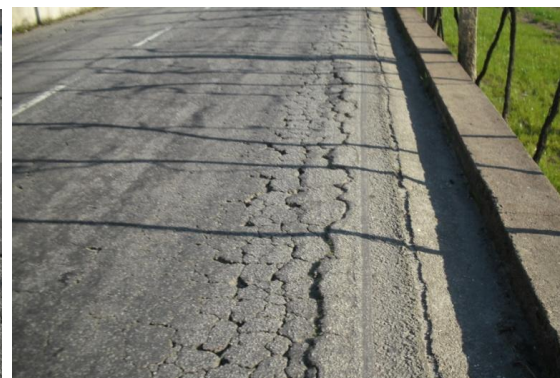


Figura 83 - Deformações Localizadas



Figura 84 - Rodeiras



Figura 85 - Malha Larga e Pele de Crocodilo

Troço 1+900 – 2+050

Nível de Degradação: Muito alto

Patologias: Fissuras superficiais, desagregação superficial, pele de crocodilo, ninhos, malha larga, deformações localizadas e rodeiras.

Observações: Este troço de pavimento tem um nível de degradação bastante acentuado, apresentando sobretudo desagregação superficial e pele de crocodilo bem evoluídas e originadas pela fadiga do pavimento e pela pressão exercida pela água no pavimento quando pisada por veículos pesados.



Figura 86 - Deformações Localizadas



Figura 87 - Ninhos



Figura 88 - Pele de Crocodilo



Figura 89 - Desagregação Superficial

Troço 2+050 – 2+200

Nível de Degradação: Alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, desagregação superficial e fendas transversais.

Observações: Troço de pavimento com patologias acentuadas e bem identificada. As linhas de sinalização horizontais na superfície do pavimento estão completamente inexistentes devido à constante circulação de veículos que degradam este tipo de sinalização. É essencial que haja uma constante inspeção e colocação de novas linhas de sinalização horizontal para que estas estejam perfeitamente visíveis e permitam aos condutores conhecer os limites das vias e da faixa de rodagem.

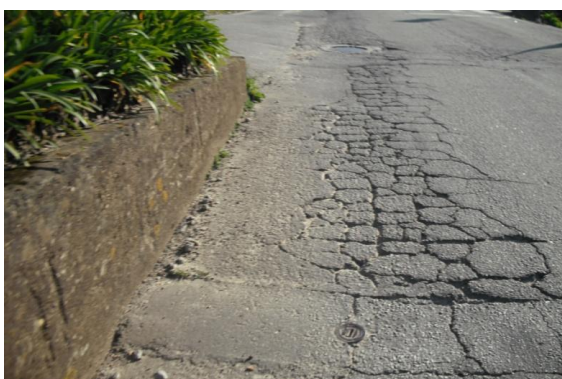


Figura 90 - Fenda Transversal e Pele de Crocodilo



Figura 91 - Degradação Superficial



Figura 92 - Desagregação Superficial



Figura 93 - Pele de Crocodilo

Troço 2+200 – 2+350

Nível de Degradação: Muito alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, desagregação superficial e deformações localizadas.

Observações: Este troço de pavimento apresenta patologias bem acentuadas. Nas figuras 96 e 97 são visíveis as consequências que as deformações localizadas podem causar no pavimento. Existe uma deslocação da camada superficial para a berma da estrada, havendo uma acumulação de betuminoso neste local e uma redução na zona dos rodados. Este tipo de acontecimento reduz

a resistência das camadas betuminosas, deixando ainda mais sensível a camada de desgaste e mais exposta a camada de sub-base.



Figura 94 - Desagregação Superficial



Figura 95 - Pele de Crocodilo



Figura 96 - Deformações Localizadas



Figura 97 - Deformações Localizadas

Troço 2+350 – 2+500

Nível de Degradação: Muito alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, desagregação superficial, ninhos e deformações localizadas.

Observações: Troço de pavimento com elevado desgaste caracterizado por uma forte desagregação superficial. É possível ver na figura 99 a desagregação superficial que este pavimento sofreu, resultando em perdas bastante assinaláveis de mistura betuminosa com a camada superficial a ser a principal afetada com redução da sua espessura.



Figura 98 - Pele de Crocodilo



Figura 99 - Desagregação Superficial



Figura 100 – Ninho



Figura 101 - Deformações Localizadas

Troço 2+500 – 2+700

Nível de Degradação: Alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, desagregações superficiais, fendas longitudinais e malha larga.

Observações: Troço de pavimento caracterizado por elevado grau de fissuras superficiais como pele de crocodilo e malha larga em longo da sua extensão. As patologias identificadas foram originadas pela fadiga do pavimento e pela pressão exercida pela água no pavimento quando pisada por veículos pesados.



Figura 102 - Pele de Crocodilo



Figura 103 - Desagregação Superficial



Figura 104 - Pele de Crocodilo e Fendas Longitudinais



Figura 105 - Malha Larga

Troço 2+700 – 2+900

Nível de Degradação: Alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, desagregação superficial e ninhos.

Observações: Patologias bem desenvolvidas com a camada superficial bastante fissurada originadas pela fadiga do pavimento e pela pressão entre o veículo e a água no pavimento.



Figura 106 - Pele de Crocodilo



Figura 107 - Desagregação Superficial



Figura 108 - Ninhos e Pele de Crocodilo



Figura 109 - Ninhos

Troço 2+900 – 3+100

Nível de Degradação: Muito alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, desagregação superficial, rodeiras e subida de finos.

Observações: Troço de pavimento com patologias bem visíveis e acentuadas. A figura 113 mostra areia na superfície do pavimento, levando a crer que poderá ter havido uma subida de finos resultado de uma descompactação da camada granular devido à presença de água na sub-base, levando à subida do agregado até à superfície.



Figura 110 - Desagregação Superficial



Figura 111 - Pele de Crocodilo



Figura 112 - Rodeiras



Figura 113 - Subida de Finos e Rodeiras

5.3.3. Rua de D. Pedro IV

Esta é a última rua do pavimento a reabilitar e também a que se encontra em melhor estado de conservação. Apresenta sobretudo diversas patologias superficiais estando a sub-base em melhores condições que as restantes ruas do pavimento. Os troços são divididos de 200 metros em 200 metros tendo 1650 metros de extensão. A seguinte figura mostra o pavimento devidamente quilometrado.

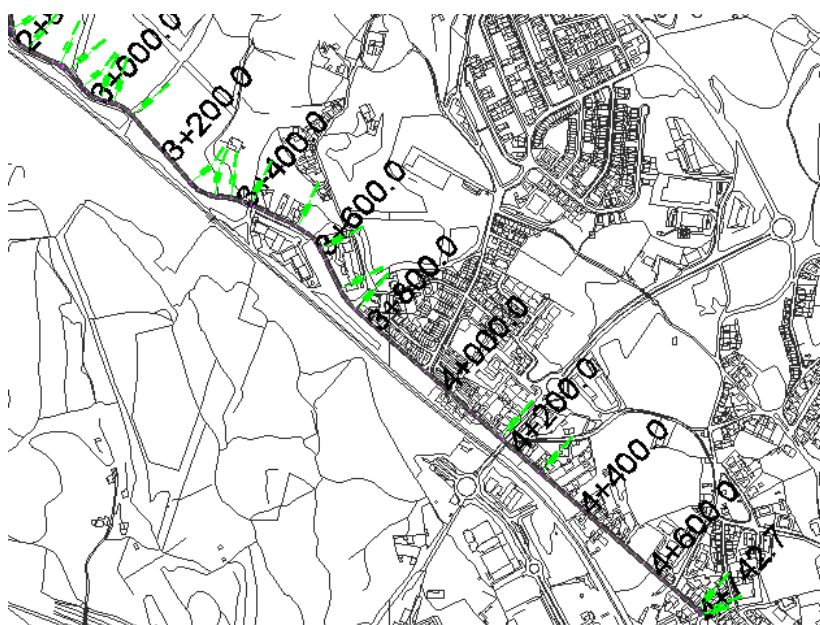


Figura 114 – Rua D. Pedro IV Quilometrada

Troço 3+100 – 3+300

Nível de Degradação: Muito alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, desagregação superficial, ninhos, rodeiras, fendas longitudinais e deformações localizadas.

Observações: Troço de pavimento com diversos tipos de patologias provocadas essencialmente pela fadiga do pavimento. A figura 117 mostra uma rodeira que demonstra a deficiência de capacidade de carga do pavimento. Esta patologia foi causada sobretudo pelo tráfego pesado que com passagens sucessivas na zona dos rodados origina deformações superficiais em forma de flecha devido a fraca capacidade de suporte da sub-base granular.



Figura 115 - Ninhos



Figura 116 - Deformações Localizadas



Figura 117 - Rodeiras



Figura 118 - Desagregação Superficial

Troço 3+300 – 3+500

Nível de Degradação: Muito alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, desagregação superficial, ninhos, rodeiras, fendas longitudinais e deformações localizadas.

Observações: Troço de pavimento com degradações muito elevadas e com um vasto número de patologias. Na figura 122 é possível ver a estagnação da água vinda das habitações no pavimento e a forma como ela penetra nas fissuras ao nível da camada superficial, passando com a ajuda da pressão exercida pelo peso dos veículos para as camadas inferiores. O ideal neste tipo de situações é garantir desde logo que a água seja drenada longitudinalmente pelas valetas ou rapidamente drenada transversalmente.



Figura 119 - Pele de Crocodilo



Figura 120 - Desagregação Superficial



Figura 121 - Fendas Longitudinais e Rodeiras



Figura 122 - Ninhos

Troço 3+500 – 3+700

Nível de Degradação: Alto

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, desagregação superficial, ninhos, rodeiras e fendas longitudinais.

Observações: Troço com patologias acentuadas e desenvolvidas, principalmente pele de crocodilo originada pela fadiga do pavimento e pela pressão entre o veículo e a água no pavimento.



Figura 123 – Rodeiras



Figura 124 - Ninhos e Pele de Crocodilo



Figura 125 - Fissuras Superficiais



Figura 126 - Pele de Crocodilo

Troço 3+700 – 3+900

Nível de Degradação: Médio

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo e desagregação superficial

Observações: Troço com algumas patologias acentuadas em determinados locais do pavimento. A figura 127 apresenta pele de crocodilo bastante avançada e já com indícios de desagregação superficial.



Figura 127 - Desagregação Superficial



Figura 128 - Desagregação Superficial

Troço 3+900 – 4+100

Nível de Degradação: Médio

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, ninhos e desagregação superficial.

Observações: Troço com algumas patologias acentuadas principalmente pele de crocodilo bastante avançada. A figura 130 mostra uma tampa na zona dos rodados com pele de crocodilo nas suas extremidades. Esta tampa está sujeita à pressão do peso dos veículos quando o ideal é estar estrategicamente situada no eixo da faixa de rodagem ou no meio da via, evitando serem pisadas pelos veículos.



Figura 129 - Desagregação Superficial e Ninhos



Figura 130 - Pele de Crocodilo



Figura 131 - Desagregação Superficial e Pele de Crocodilo

Troço 4+100 – 4+300

Nível de Degradação: Baixo

Patologias: Fissuras superficiais e ninhos.

Observações: Troço com poucas patologias com o pavimento a encontrar-se num estado aceitável.

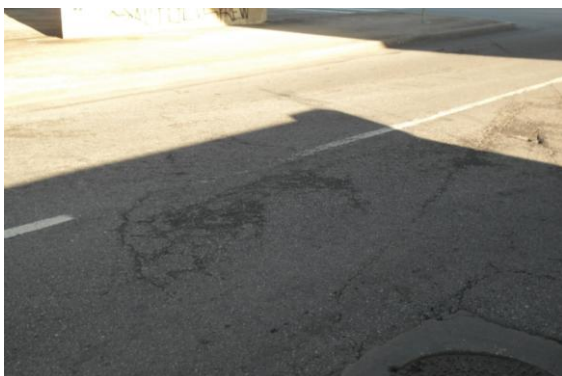


Figura 132 - Fissuras Superficiais



Figura 133 - Ninhos

Troço 4+300 – 4+500

Nível de Degradação: Médio

Patologias: Fissuras superficiais e ninhos.

Observações: Patologias identificadas originadas pela fadiga do pavimento e pela pressão entre o veículo e a água no pavimento.



Figura 134 - Ninhos



Figura 135 - Fissuras Superficiais

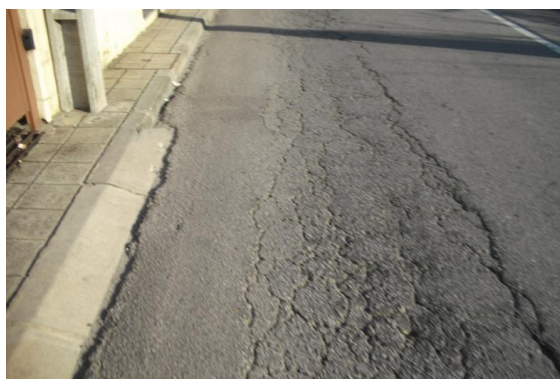


Figura 136 - Pele de Crocodilo

Troço 4+500 – 4+750

Nível de Degradação: Médio

Patologias: Fissuras superficiais, pele de crocodilo, fendas longitudinais e ninhos.

Observações: Troço com patologias acentuadas e definidas em determinados locais. As patologias são geralmente pele de crocodilo originado pela fadiga do pavimento e pela pressão entre o veículo e a água no pavimento. Este troço apresenta uma inclinação longitudinal reduzida o que poderá causar dificuldade de drenagem.



Figura 137 - Pele de Crocodilo



Figura 138 - Ninhos

5.3.4. Comportamento da Drenagem em Dias de Chuva

Os dias de chuvas são os mais preocupantes para a degradação do pavimento. Existe uma grande acumulação de água, fruto das deformações superficiais que o pavimento possui, originando locais de acumulação de água (poças de água) e agravado por uma drenagem deficiente. Nas seguintes figuras pode ver-se mais pormenorizadamente a acumulação de água no pavimento.



Figura 139 - Acumulação de Água no Pavimento



Figura 140 - Acumulação de Água no Pavimento



Figura 141 - Acumulação de Água no Pavimento



Figura 142 - Acumulação de Água no Pavimento



Figura 143 - Poças de Água



Figura 144 - Poças de Água



Figura 145 - Poças de Água



Figura 146 - Pressão Entre a Água e o

Tal como já tinha sido referido anteriormente, a figura 146 é um bom exemplo para explicar a pressão que os veículos, principalmente os pesados, ao passar na zona de acumulação de água, exercem uma pressão vertical que por sua vez exerce pressão sobre o pavimento. Caso estes não estejam totalmente impermeável, a água consegue infiltrar-se em pequenas fissuras, obrigando estas a expandir-se. Se nada for feito é uma questão de tempo até atingirem a camada granular e provocarem deformações na superfície do pavimento. Na figura 144 pode ver-se a água na pele de crocodilo, antecedendo a passagem do veículo na figura 146, que exerce pressão e origina as infiltrações.

5.3.5. Caraterísticas das Valetas

A drenagem do pavimento é feita de forma deficiente. As valetas são demasiado pequenas e em certos locais estão mesmo danificadas ou inexistentes, tendo uma grande necessidade de serem limpas, pois estão acumuladas de lixo que impede uma correta drenagem.

Quanto à sua dimensão, estas têm uma largura de 45 cm e uma profundidade de 15 cm, o que parece ser pouco.



Figura 147 - Valeta Obstruída com Lixo



Figura 148 - Valeta Obstruída com Lixo



Figura 149 - Valeta Obstruída com Lixo



Figura 150 - Valeta Partida de um dos Lados



Figura 151 - Valeta Partida de um dos Lados



Figura 152 - Incapacidade da Valeta Drenar



Figura 153 - Incapacidade da Valeta Drenar

É visível nas figuras 152 e 153 a dificuldade das valetas em circular a água devido à acumulação de lixo que obstrói a circulação e à falta de capacidade para dar vazão ao escoamento longitudinal.

5.4. Avaliação das Camadas de Pavimento Existentes

5.4.1. Análise de Campo

As informações obtidas na Câmara Municipal de Valongo e na Junta de Freguesia de Alfena suscitaram algumas dúvidas em relação ao pavimento. Em primeiro lugar, os pavimentos são antigos, pelo que os seus projeto remontam a 1993 e 1999, onde podem eventualmente ter sido aplicadas novas camadas depois da sua construção, mas a Câmara Municipal de Valongo não tem uma resposta exata. Existe um pavimento na Rua de Vilar, onde apenas é conhecido a aplicação de uma camada de betuminoso, mas não é conhecido os tipos de camadas anteriores. Existe ainda a curiosidade informativa esclarecida pela Junta de Freguesia de Alfena, afirmando a colocação de uma camada betuminosa por cima dos blocos de granito, assegurando também que este processo já tinha sido executado noutras ocasiões, em antigas ruas da freguesia. Contudo, é possível responder às questões da constituição das camadas dos respetivos pavimentos retirando carotes em determinados locais.

O trabalho de retirar carotes implicou a disponibilização de alguns técnicos para controlo do tráfego e tapagem de concavidades. O laboratório de Materiais de Construção do ISEP - LMC, responsável pelo fornecimento de todo o material de campo necessário ao processo de retirar carotes. Por último, uma carrinha de caixa aberta para transporte do material e das carotes retiradas, disponibilizada por um familiar do aluno. Pode ver-se nas seguintes figuras o equipamento em causa.



Figura 154 – Gerador



Figura 155 - Boca para Retirar Carotes



Figura 156 – Bomba de Água



Figura 157 - Caroteadora

A figura 154 representa o gerador a gasolina, fonte de energia, gerando eletricidade para a caroteadora trabalhar. A figura 157 representa a caroteadora, também designada extrator de carotes, que liga através de um cabo elétrico ao gerador, fazendo o cilindro girar em torno do seu eixo. Este cilindro metálico, como se pode ver na figura 155, tem na ponta uma boca com dentes, que ao rodar furam o pavimento. Existe uma alavanca do lado esquerdo da caroteadora, que não é muito perceptível na figura 157, mas é de elevada importância, pois faz subir e descer o cilindro metálico, possibilitando um controlo por parte do utilizador em relação à profundidade de serragem do pavimento. Como as camadas dos pavimentos são duros, o que dificultariam muito o trabalho de serragem com este equipamento, existe uma bomba de água, figura 156, que faz a ligação à boca da caroteadora através de uma mangueira. Ao mesmo tempo da serragem, a água ajuda a reduzir o atrito, facilitando este trabalho. A seguinte figura mostra o equipamento em trabalho, permitindo ver a alavanca e a água.



Figura 158 – Perfuração do Pavimento

A serragem do pavimento acaba quando a água à superfície se encontra branca e com areia, significando ter-se atingido a camada de sub-base, tal como mostra a figura 158. Em geral, conhece-se a espessura a perfurar e marca-se no cilindro, finalizando quando for atingida essa marca. Neste caso, como não é conhecido com verdadeiro rigor a profundidade, tendo por isso de se adotar outra solução. Finalizando a perfuração, com a alavanca move-se o cilindro para fora do pavimento e retira-se a carote, que normalmente já se encontra solta, mas caso não aconteça, pode-se recorrer à ajuda de uma chave de fendas. Por fim, à cavidade deixada tapa-se com areia, onde os funcionários da Câmara Municipal de Valongo ficaram responsável por uma nova deslocação ao local no sentido de colocar betuminoso na cavidade e respetiva compactação. O processo de retirar a carote, incluindo a tapagem da concavidade, preparação do material e análise da carote, demorou cerca de 20 a 30 minutos.



Figura 159 – Preenchimento da Concavidade Deixada pela Carote

Para a determinação do material na sub-base, este muitas vezes encontrava-se duro e compacto, sendo difícil de retirar fora da concavidade. Com recurso a uma ponteira e um martelo, colocando a ponta da ponteira dentro da concavidade e martelando na cabeça da mesma, como mostra a figura 160, conseguiu-se soltar alguns fragmentos do agregado compactado, sobretudo na zona da rega de impregnação.



Figura 160 – Fragmentação do Topo da Sub-base

No total foram retiradas 5 carotes, duas na Rua de Vilar, duas na Rua de Cabeda e uma na Rua D. Pedro IV. Na Rua de Vilar, a primeira carote foi retirada no início da rua ao quilómetro 0+075 e outra ao quilómetro 1+025. No final da rua havia inicialmente a intenção de retirar uma carote nesse local, mas foi decidido não o fazer, pois esse pavimento era recente e estava numa zona de semáforos com vias separadas, onde iria dificultar muito o tráfego. Pode ver-se na figura seguinte, marcada com o símbolo X a vermelho, o local da intervenção.



Figura 161 - Localização das Carotes Retiradas na Rua de Vilar

Tanto a primeira, como a segunda carote, foram retiradas na via de 2º sentido (sentido de Alfena para Valongo ou mais propriamente da Rua de Vilar para a Rua D. Pedro IV, já a via de 1º sentido diz respeito à direção contrária de Valongo para alfena). A primeira carote está

representada na figura 162, onde em baixo da carote estão fragmentos da camada granular. Esta apresenta duas camadas, onde a primeira tem cerca de 8 cm de espessura com granulometria 0/14, e a segunda 8 cm com granulometria 0/20. A segunda camada não está solida nem ligada à primeira camada, uma vez que partiu facilmente. Quanto à sub-base, esta é constituída por ABGE 0/40. Para as outras quatro carotes, as espessuras não se diferenciaram muito da primeira carote, com exceção na quarta carote, que foi relativamente mais pequena que as restantes.

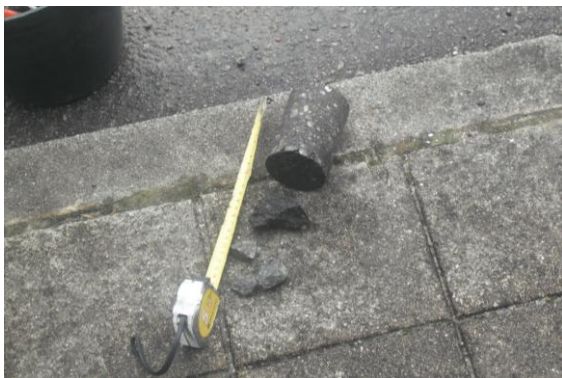


Figura 162 – 1ª Carote



Figura 163 - Cavidade Deixada pela 1ª Carote

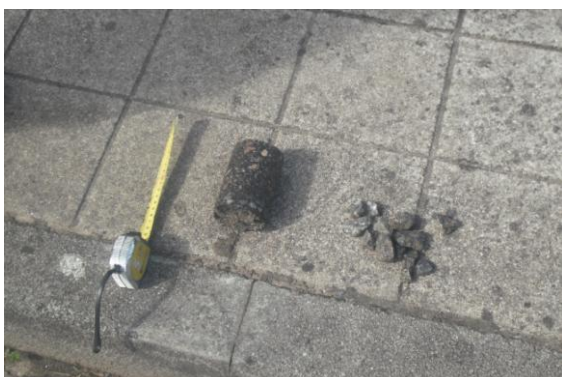


Figura 164 – 2ª Carote



Figura 165 - Cavidade da 2ª Carote

Na Rua de Cabeda, a primeira carote foi retirada logo ao início da rua, mais precisamente ao quilómetro 1+575, enquanto que a segunda foi retirada ao quilómetro 2+525. Houve a dificuldade de eger o local para a segunda carote, porque a Rua de Cabeda encontra-se em muito mau estado, com fissuras em grande parte do seu pavimento. Não é aconselhável retirar carotes em locais muito degradados, com elevado grau de fissuração e sub-bases deterioradas, porque nesses locais o pavimento é mais frágil, havendo a possibilidade de se desfazer facilmente. Os locais ideais dos pavimentos para retirar as carotes são em locais de bom estado de conservação, para que estas saiam intactas sem esmigalharem ou sem qualquer fratura.

A seguinte figura apresenta a localização das carotes retiradas na Rua de Cabeda, assinalados nos mesmos modos da Rua de Vilar.

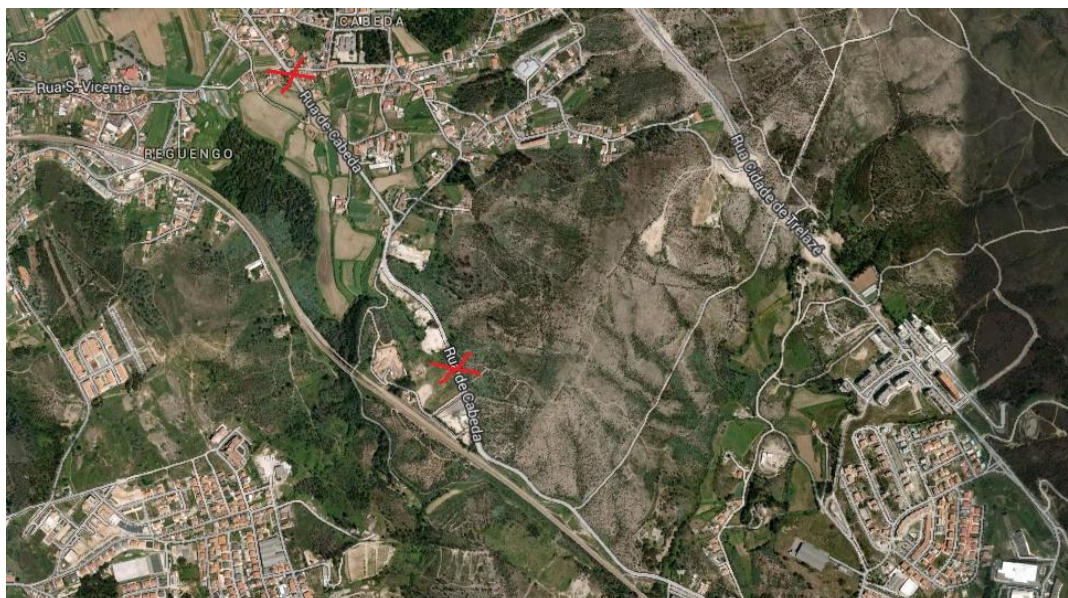


Figura 166 - Localização das Carotes Retiradas na Rua de Cabeda

Como já foi referido, em termos de constituintes e respetivas espessuras, a terceira carote é idêntica as anteriores, apenas a quarta carote difere sendo mais pequena como é possível identificar na figura 169. Em ambos os casos, as carotes foram retiradas na via de 2º sentido.



Figura 167 – 3ª Carote



Figura 168 - Concavidade da 3ª Carote



Figura 169 – 4ª Carote e Respetiva Concavidade

Por fim, na Rua D. Pedro IV, retirou-se apenas uma carote, por se entender que este troço de pavimento encontrava-se em melhor estado que os anteriores e não se justificava mais que uma carote ao quilómetro 3+875. Neste caso, a carote foi retirada na via de 1º sentido.

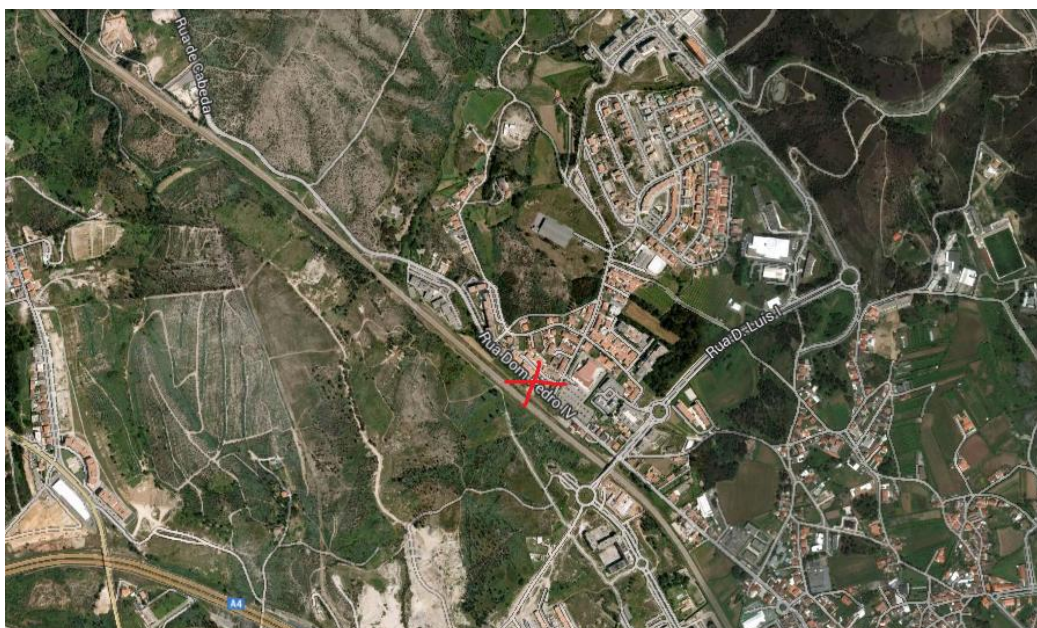


Figura 170 - Localização das Carotes Retiradas na Rua D. Pedro IV

Apresenta-se de seguida uma figura ilustrativa com a 5ª carote e alguns agregados da sub-base com a respetiva cavidade.



Figura 171 – 5ª Carote e Respetiva Cavidade

Em forma de resumo, a seguinte tabela apresenta as espessuras totais das camadas betuminosas de cada carote, bem como o constituinte da sub-base.

Tabela 12 – Espessuras da Camada Betuminosa e Sub-base das Carotes

Carotes	Betuminoso (cm)	Sub-base
1	13	ABGE 0/40
2	10	ABGE 0/40
3	10	ABGE 0/40
4	8	ABGE 0/40
5	12	ABGE 0/40

A análise feita das carotes não é propriamente uma análise concreta, visto ser uma análise à primeira vista pelos intervenientes neste trabalho. Para uma análise rigorosa, o ideal

seria a realização de ensaios laboratoriais para determinar do tipo de misturas betuminosas e de sub-base que constituem os vários pavimentos, bem como a determinação do grau de fadiga. Este passo foi inicialmente pensado, mas não foi possível de ser realizado por falta de disponibilidade do responsável do laboratório do CICCOPN.

Com os resultados adquiridos das carotes, comparativamente com as informações obtidas na Câmara de Municipal de Valongo e na Junta de Freguesia de Alfena, desde logo, compreende-se que não foi aplicada uma camada de betuminoso por cima dos cubos de granito, mas que houve uma fase anterior que não foi contabilizada. Nessa fase, foram retirados os cubos de granito com a aplicação de uma estrutura à qual não existem informações, para posteriormente ser realizado o projeto de 1993. Outra hipótese é na realização desse mesmo projeto terem sido removidos os blocos de granito e colocação de uma estrutura completamente nova, mas que no projeto de 1993 apenas tenha sido referenciado a parte final do trabalho, correspondente à rega de colagem e aos 6 cm de betuminoso. Contudo, na carote deste pavimento, a espessura da camada betuminosa é superior aos 6 cm do projeto, não havendo vestígios de cubos de granitos. Isto leva a crer que houve uma fase anterior à realização do projeto de 1993 para remoção dos blocos de granito e colocação de uma estrutura de pavimento nova, para posterior colocação de uma camada de betuminoso, elevando a espessura total de camadas betuminosas. Assim, a primeira hipótese parece ser a que melhor se ajusta às circunstâncias.

5.5. *Estudo Superficial do Pavimento (Rodeiras)*

Para o estudo das rodeiras, foi novamente necessário a colaboração da Câmara de Municipal de Valongo, cedendo dois funcionários para orientação do trânsito, enquanto o trabalho era executado. Assim, marcou-se um dia pelas 8h30 no início da Rua de Vilar para iniciar o estudo das rodeiras. Foi necessário um varão de ferro com aproximadamente 1,5 metros de comprimento e uma fita métrica para medir as deformações. O varão de ferro é colocado na horizontal na zona da rodeira tal como mostra a figura.



Figura 172 – Varão de Ferro Colocado na Zona da Rodeira

De seguida coloca-se a fita métrica na vertical, até tocar no pavimento e mede-se a distância desde o pavimento até ao varão.



Figura 173 – Medição de uma Rodeira

No total foram medidas 10 rodeiras, quatro na Rua de Vilar, três na Rua de Cabeda e três na Rua D. Pedro IV. Relativamente aos critérios de seleção do local das rodeiras, foram medidas as que apresentam maiores deformações por serem as mais gravosas e com uma certa separação entre si. Apresenta-se de seguida uma figura com os locais assinalados com o símbolo x a vermelho, alvo de medições de rodeiras na Rua de Vilar.



Figura 174 – Localização das Rodeiras Medidas na Rua de Vilar

De seguida apresenta-se uma figura da Rua de Cabeda com a sinalização dos locais de medições das rodeiras.



Figura 175 - Localização das Rodeiras Medidas na Rua de Cabeda

Por último, a figura seguinte mostra os locais das rodeiras medidas na Rua D. Pedro

IV.



Figura 176 - Localização das Rodeiras Medidas de Rua de D. Pedro IV

Os resultados das medições são os apresentados na seguinte tabela.

Tabela 13 – Resultado das Medições das Rodeiras

Rua	Nº Rodeiras	Deformação (cm)	Quilometragem
Rua de Vilar	1	3	0+100
	2	3	0+700
	3	4	1+100
	4	6	1+175
Rua de Cabeda	5	3	1+725
	6	5	2+275
	7	6	2+850
Rua D. Pedro IV	8	5	3+250
	9	5	3+550
	10	2	4+400

5.6. Medição da Largura da Faixa de Rodagem

A medição da largura da via rodoviária foi feita à noite, perto das 24h, para não interferir com a passagem de veículos. Com auxílio de uma fita métrica, fez-se a medição da faixa de rodagem em seis pontos diferentes, dois em cada rua.

Relativamente aos critérios de seleção dos locais de medição da faixa de rodagens, apenas foi tido em conta haver uma distância entre medições e duas por rua. Não se justifica mais que seis medições no total para estimar a largura típica da faixa de rodagem. A seguinte figura mostra os locais onde foram medidas as faixas de rodagem na rua de Vilar.



Figura 177 – Localização dos Pontos de Medição da Rua de Vilar

A figura seguinte mostra os locais de medições da faixa de rodagem na Rua de Cabeda.



Figura 178 – Localização dos Pontos de Medição da Rua de Cabeda

De seguida apresenta-se na Rua D. Pedro IV os locais onde foram medidas as faixas de rodagens.

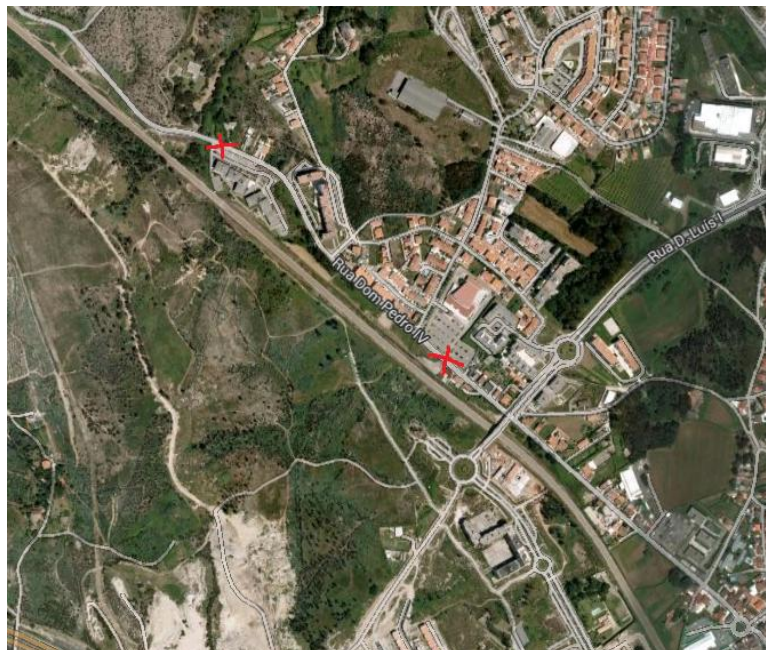


Figura 179 – Localização dos Pontos de Medição da Rua D. Pedro IV

O resultado das medições está na tabela seguinte, que apresenta tanto as larguras das faixas de rodagens, como as localizações das respetivas medições.

Tabela 14 – Larguras da Faixa de Rodagem

Ponto	Quilometragem	Largura da Via (m)	Largura Faixa de Rodagem (m)
1	0+200	3	6
2	1+100	3,1	6,2
3	1+775	3	6
4	2+525	3	6
5	3+450	3,5	7
6	4+100	3,5	7

5.7. Conclusão da análise do pavimento

Este pavimento encontra-se num estado de degradação muito elevado, com inúmeras e variadas patologias superficiais e estruturais. Existem troços com um nível de degradação tão grande que será muito difícil aproveitar alguma parte do pavimento.

Retiradas as carotes, foi possível ver que o pavimento apresenta camadas betuminosas com uma espessura em média de 10 cm e com um número de camadas não identificado, mas que será cerca de duas por pavimento. Tendo em conta a importância desta estrada e o número visível de veículos pesados que circulam, esta estrutura de betuminoso parece ser insuficiente e em dimensionamento terá de ser sugerido uma estrutura de pavimento mais resistente.

A drenagem é também uma preocupação, apresentando dificuldades de escoamento superficial e longitudinal, com valetas muito limitadas, sendo necessário fazer novo dimensionamento de todo este sistema.
















6. Estudo de um Novo Pavimento

6.1. *Contagens de tráfego*

Na fase de dimensionamento é essencial conhecer o volume de tráfego que circula nesta via. Para o estudo do tráfego ser feito de forma correto, é necessário saber a quantidade de veículos pesados anuais por subcategoria, que circula em cada via. Assim, seria necessário uma contagem de tráfego longa e exaustiva, para serem obtidos os valores exatos de tráfego anual por subcategoria e poder dimensionar corretamente o pavimento. Esse estudo seria impossível de realizar neste trabalho, visto ser um projeto com prazos de entrega muito reduzidos em relação ao tempo necessário para o estudo de tráfego referido. Logo, esta solução não é viável, passando a solução adotada pela realização de uma estimativa do tráfego anual. O tráfego mais importante ocorre nas horas de maior volume, as chamadas “horas de ponta”, representando as horas de viagem para o trabalho e o regresso a casa. Desta forma, as horas referidas são geralmente das 7h às 9h e das 17h às 19h, tendo sido estas as horas adotadas para este estudo. Assim, elaborou-se uma tabela personalizada com as subcategorias dos veículos pesados, pois estes são os veículos mais agressivos para o pavimento e por isso, os considerados em dimensionamento. Contudo, o tráfego não é exatamente o mesmo ao longo do percurso, havendo alguns cruzamentos que permitem a entrada e a saída de veículos no pavimento rodoviário. Este fator origina diferentes quantidades de tráfego, assim como uma diferente distribuição de veículos pesados que circulam em cada rua. Para a contagem de tráfego foram definidas duas zonas, início da Rua de Vilar e início da Rua de Cabeda. Estas são as zonas de cruzamento de ruas com diferentes sentidos, de maior acumulação de tráfego de todo o pavimento. São também as principais saídas e entradas de veículos pesados das zonas indústrias localizadas em Alfena, tal como as principais entradas no acesso ao centro de Valongo. Para ser feita a contagem de tráfego, foi necessário estar nos dois locais entre os períodos definidos e marcar na tabela de tráfego personalizada, uma unidade por cada passagem de um veículo pesado na respetiva subcategoria. No final, fez-se a contabilidade de quantos veículos por subcategoria circularam em cada local. No total foram quatro contagens, definidas como Rua de Vilar das 7h-9h, Rua de Vilar das 17h-19h, Rua de Cabeda das 7h-9h e Rua de Cabeda das 17h-19h. Com isto, obteve-se a quantidade de tráfego pesado por subcategorias para as horas de maior volume de tráfego. Contudo, o horário das 12h às 14h também corresponde a um período de elevado tráfego por ser a altura do almoço, havendo uma maior circulação de veículos. Assim, existem três picos no tráfego diário, da 7h às 9h, das 12h às 14h e das 17h às 19h.

A seguinte tabela mostra a contagem de veículos pesados por subcategoria na Rua de Vilar entre 7h e as 9h.


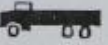

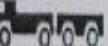

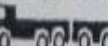
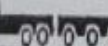



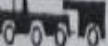
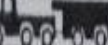
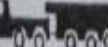


Tabela 15 – Tráfego Rua de Vilar das 7h às 9h

Local: Rua de Vilar		Horario: 7h-9h		
Veiculo		Contagem Horária		
Cat.	Sinhueta	1º Sentido ↑	2º Sentido ↓	Total
F1		38	36	74
F2		0	0	0
F3		0	0	0
G1		1	1	2
G2		0	0	0
G3		0	0	0
G4		1	1	2
H1		1	6	7
H2		1	2	3
H3		1	5	6
H4		0	0	0
H5		0	0	0
H6		0	0	0
I1		11	6	17
I2		0	0	0
Total		111		

Na subcategoria I1, apesar de contabilizado na contagem de tráfego, não entrou no dimensionamento. Esta decisão deve-se ao facto de ser possível saber a quantidade de autocarros I1 através dos seus horários. Para a sua contabilização, foi contada a quantidade de autocarros diários que passavam no respetivo local e sentido, sendo multiplicado por um fator majorante de 1,2, para contabilizar alguns autocarros de outras companhias que circulem pontualmente no pavimento. A contagem de autocarros foi diferente na Rua de Vilar para a Rua de Cabeda visto serem companhias diferentes, STCP e Resende respetivamente, onde a segunda apresenta valores de circulação bastante reduzidos, com uma média de um autocarro por hora.

A tabela seguinte mostra a contagem de tráfego na Rua de Vilar entre as 17h e as 19h.
















Tabela 16 – Tráfego Rua de Vilar das 17h às 19h

Local: Rua de Vilar		Horario: 17h-19h		
Veiculo		Contagem Horária		
Cat.	Sinhuela	1º Sentido ↑	2º Sentido ↓	Total
F1		29	46	75
F2		2	1	3
F3		0	0	0
G1		0	0	0
G2		0	0	0
G3		0	0	0
G4		0	0	0
H1		0	1	1
H2		2	0	2
H3		3	1	4
H4		0	0	0
H5		0	0	0
H6		0	0	0
I1		8	10	18
I2		0	0	0
Total		103		

Fazendo uma breve análise às duas tabelas ilustradas anteriores, que representam os períodos de maior volume de tráfego, repara-se que existe uma pequena diferença nos totais, apresentando uma ligeira superioridade no período da manhã. Analisando por subcategoria, a tabela correspondente ao intervalo das 7h às 9h está, no geral, mais composta que à tabela das 17h às 19h.

De seguida, apresenta-se na tabela 17 a contabilidade do tráfego no início da Rua de Cabeda no período das 7h às 9h.
















Tabela 17 – Tráfego de Cabeda das 7h às 9h

Local: Rua de Cabeda		Horario: 7h-9h		
Veiculo		Contagem Horária		
Cat.	Sinhueta	1º Sentido ↑	2º Sentido ↓	Total
F1		25	41	66
F2		3	4	7
F3		0	0	0
G1		0	0	0
G2		1	0	1
G3		0	1	1
G4		1	0	1
H1		2	1	3
H2		0	1	1
H3		0	0	0
H4		0	0	0
H5		0	0	0
H6		0	0	0
I1		2	2	4
I2		0	0	0
Total		84		

O dia de contagem de tráfego foi cuidadosamente escolhido, não podia ser ao fim de semana nem aos feriados, porque o volume de tráfego não é o mesmo que em dias úteis. A maior parte das empresas e indústrias não trabalha nesses dias, não correspondendo ao volume de tráfego correto. Outros fatores a ter em conta são os dias celebrativos, como o Natal ou a Páscoa, onde existe uma crescente migração e um corrente período de férias prolongadas. Assim, a contagem de tráfego foi feita duas semanas depois da Páscoa, para precaver qualquer tipo de influência que esta pudesse ter.

Por fim, apresenta-se a tabela correspondente à última contabilização do tráfego, na Rua de Cabeda entre às 17h e as 19h. No caso da Rua de Cabeda, as duas tabelas que caracterizam o tráfego de pesados nesse pavimento apresentam-se muito semelhantes no que diz respeito aos seus totais.

Tabela 18 – Tráfego de Cabeda das 17h às 19h

Local: Rua de Cabeda		Horario: 17h-19h		
Veiculo		Contagem Horária		
Cat.	Sinhueta	1º Sentido ↑	2º Sentido ↓	Total
F1		35	27	62
F2		5	2	7
F3		0	0	0
G1		0	0	0
G2		1	0	1
G3		1	0	1
G4		0	0	0
H1		3	3	6
H2		0	1	1
H3		2	2	4
H4		0	0	0
H5		0	0	0
H6		0	0	0
I1		3	2	5
I2		0	0	0
Total				87

Os restantes períodos do dia que antecedem e sucedem estes três períodos de pico, foram considerados como 50% do pico correspondente. Para os períodos que antecedem esses 50%, considerou-se 25% do correspondente pico, como mostra a figura 180.

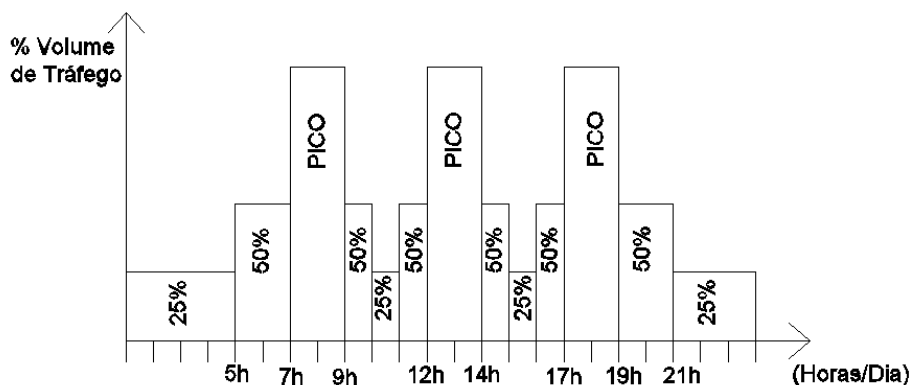


Figura 180 – Distribuição do Tráfego Médio Diário de Pesados

As tabelas que se seguem mostram para os dois locais alvos da contagem de tráfego em cada sentido, o tráfego horário por dia pelas respetivas subcategorias.

Tabela 19 – Distribuição do Tráfego Diário Vilar 1º Sentido

Vilar - 1º sentido																
Horas	F1	F2	F3	G1	G2	G3	G4	H1	H2	H3	H4	H5	H6	I1	I2	Total
1h-3h	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
3h-5h	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
5h-7h	19	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	5	0	29
7h-9h	38	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	11	0	54
9h-10h	18	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	6	0	26
10h-11h	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	6	0	16
11h-12h	9h-10h															
12h-14h	34	1	0	1	0	0	1	1	2	2	0	0	0	6	0	48
14h-15h	16	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	7	0	26
15h-16h	10h-11h															
16h-17h	14h-15h															
17h-19h	29	2	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	8	0	44
19h-21h	15	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	5	0	24
21h-23h	7	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	11
23h-1h	7	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	10
Total	211	7	0	3	0	0	3	3	12	14	0	0	0	55	0	308

As colunas sombreadas com a cor azul, correspondem a 25% do pico, com a cor amarela a 50%, a cor verde corresponde aos picos e a cor vermelho aos totais. As tabelas personalizadas de contagem de tráfego correspondem diretamente às linhas de cor amarelo, exceto no período do almoço, das 12h às 14h, onde foi feita uma média entre os dois picos, 7h-9h e 17h-19h. As linhas a azul antes das linhas a amarelo (visto de cima para baixo), como foi definido antes, são 50% do pico, então divide-se os valores das linhas a amarelo por 2. Por exemplo, na tabela 19 para o intervalo das 5h-7h na subcategoria F1, o valor de 19 é o resultado de $38/2$ e sempre arredondado à unidade. O mesmo acontece com as linhas azuis depois das linhas amarelas como é o caso do intervalo 19h-21h. Contudo, as linhas azuis que estão entre o horário de almoço e um dos picos, como é o caso das 9h-10h, 11h-12h, 14h-15h e 16h-17h, o método é diferente. Aqui, foi feita uma média entre os valores do período de pico do almoço e o período de pico correspondente. Existe outro fator, sendo estes períodos de apenas uma hora e os períodos de pico de duas horas, agruparam-se estes períodos também em duas horas. Assim, das 9h-10h e 11h-12h foram agrupados, formando um período de duas horas, tal como se sucedeu com 14h-15h e 16h-17h. Por exemplo, para o valor da subcategoria F1 no período das 9h-10h e 11h-12h calcula-se somando 38 com 34, dividindo por dois, para se obter a média e dividindo novamente por dois, porque é 50% do pico. Quanto às linhas verdes, o processo é o mesmo, onde se agrupou dois intervalos, 10h-11h e 15h-16h, e ao contrário do exemplo anterior

Projeto de Reabilitação da EM 607 no Concelho de Valongo

onde se dividiu a média obtida por dois, neste caso divide-se por quatro, correspondente aos 25%.

Tabela 20 – Distribuição do Tráfego Diário Vilar 2º Sentido

Vilar - 2º sentido																
Horas	F1	F2	F3	G1	G2	G3	G4	H1	H2	H3	H4	H5	H6	I1	I2	Total
1h-3h	9	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	13
3h-5h	9	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	13
5h-7h	18	0	0	1	0	0	1	3	1	3	0	0	0	2	0	29
7h-9h	36	0	0	1	0	0	1	6	2	5	0	0	0	6	0	57
9h-10h	19	0	0	0	0	0	0	2	1	2	0	0	0	7	0	31
10h-11h	10	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	6	0	18
11h-12h	9h-10h															
12h-14h	41	1	0	1	0	0	1	4	1	3	0	0	0	6	0	58
14h-15h	22	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	6	0	30
15h-16h	10h-11h															
16h-17h	14h-15h															
17h-19h	46	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	10	0	59
19h-21h	23	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	10	0	36
21h-23h	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	14
23h-1h	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
Total	257	3	0	3	0	0	3	23	7	19	0	0	0	55	0	370

Relativamente ao total, é calculado o total para cada subcategoria, o total por períodos e o total de veículos pesados diários.

Tabela 21 – Distribuição do Tráfego Diário Cabeda 1º Sentido

Cabeda - 1º sentido																
Horas	F1	F2	F3	G1	G2	G3	G4	H1	H2	H3	H4	H5	H6	I1	I2	Total
1h-3h	6	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8
3h-5h	6	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8
5h-7h	13	2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	19
7h-9h	25	3	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	2	0	34
9h-10h	14	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	20
10h-11h	8	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	13
11h-12h	9h-10h															
12h-14h	30	4	0	0	1	1	1	3	0	1	0	0	0	3	0	44
14h-15h	16	2	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	2	0	24
15h-16h	10h-11h															
16h-17h	14h-15h															
17h-19h	35	5	0	0	1	1	0	3	0	2	0	0	0	3	0	50
19h-21h	18	3	0	0	1	1	0	2	0	1	0	0	0	1	0	27
21h-23h	9	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	12
23h-1h	9	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	12
Total	189	26	0	0	8	4	3	18	0	7	0	0	0	16	0	271

Tabela 22 – Distribuição do Tráfego Diário 2º Sentido

Cabeda - 2º sentido																
Horas	F1	F2	F3	G1	G2	G3	G4	H1	H2	H3	H4	H5	H6	I1	I2	Total
1h-3h	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
3h-5h	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
5h-7h	21	2	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	27
7h-9h	41	4	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	2	0	50
9h-10h	19	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	25
10h-11h	9	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	14
11h-12h	9h-10h															
12h-14h	34	3	0	0	0	1	0	2	1	1	0	0	0	2	0	44
14h-15h	15	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	2	0	21
15h-16h	10h-11h															
16h-17h	14h-15h															
17h-19h	27	2	0	0	0	0	0	3	1	2	0	0	0	2	0	37
19h-21h	14	1	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2	0	21
21h-23h	7	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	10
23h-1h	7	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	10
Total	214	20	0	0	0	3	0	14	7	7	0	0	0	16	0	281

Para uma melhor compreensão da distribuição do tráfego de pesados por dia, foi elaborado um gráfico de colunas, com o número de veículos pesados estimado que circularam pelo intervalo de duas horas, em função da hora do dia correspondente. Apresenta-se na seguinte figura o gráfico referente a Vilar 1º sentido.

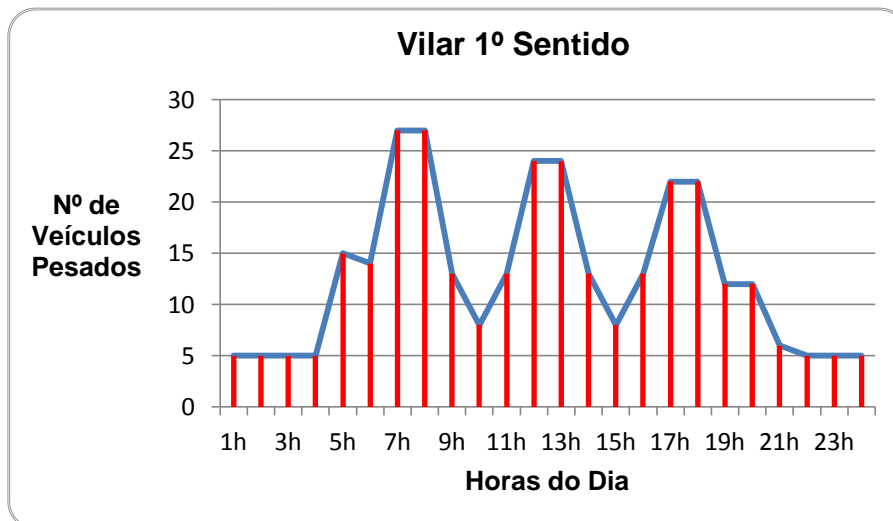


Figura 181 – Gráfico de Distribuição do Tráfego Médio Diário em Vilar 1º Sentido

É visível através do gráfico, os três picos do volume de tráfego de pesados. A contabilização do tráfego não é feita separadamente por subcategorias porque o fundamental destes gráficos é apenas visualizar a variação do volume de tráfego total em função dos momentos do dia.

Mostra-se de seguida o gráfico da Rua de Vilar 2º sentido, bem como os restantes caso relativos à Rua de Cabeda nas figuras seguintes.

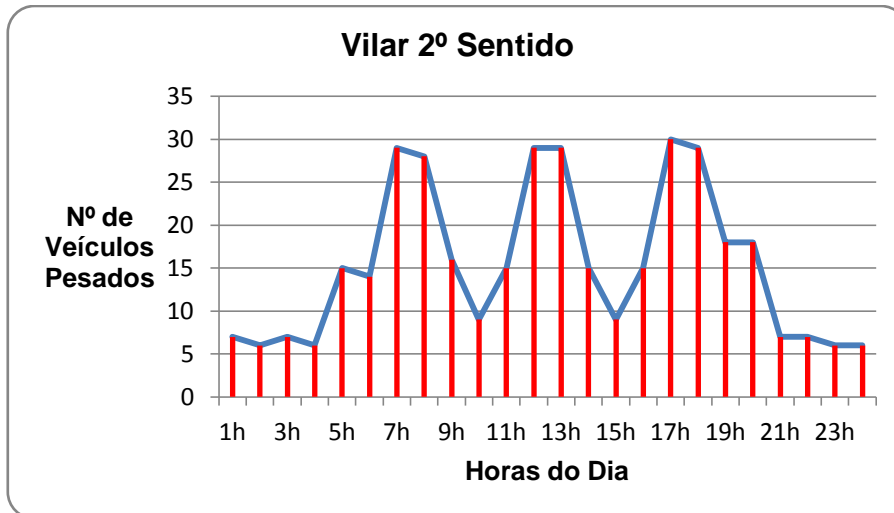


Figura 182 – Gráfico de Distribuição do Tráfego Médio Diário em Vilar 2º Sentido

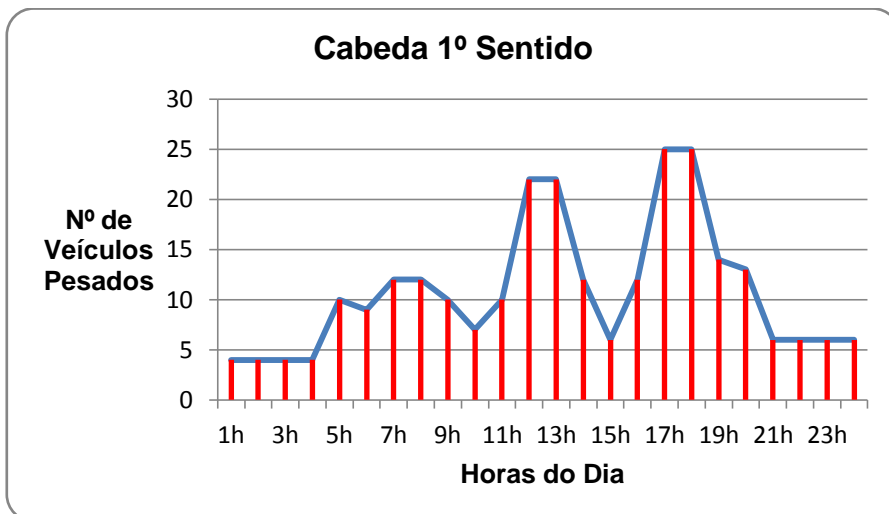


Figura 183 – Gráfico de Distribuição do Tráfego Médio Diário em Cabeda 1º Sentido

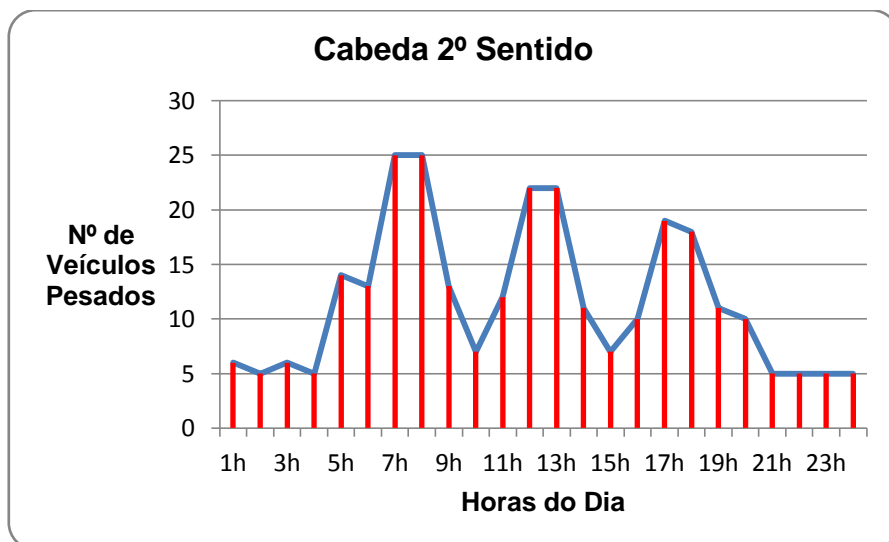


Figura 184 – Gráfico de Distribuição do Tráfego Médio Diário em Cabeda 2º Sentido

A distribuição das cargas por subcategorias é apresentada no espectro da seguinte tabela, correspondendo a um cenário possível definido pela EP, Sa. As cargas estão divididas em cargas típicas, cargas próximo do limite legal e cargas máximas, porque a carga que os veículos pesados transportam não é constante, tornando-se necessário fazer uma estimativa.

Tabela 23 – Distribuição das Cargas pelas Respetivas Subcategorias (EP-Estradas de Portugal, SA)

Sub-Categoria	Nível de Carga Considerado e Distribuição Correspondente		
	Carga Típica	Próximo do Limite Legal	Carga Máxima
F1	90% 4s+9s	9,50% 4s+12s	0,50% 5s+14s
F2	85% 4s+14t	14% 4s+20t	1% 5s+25t
G1	80% 4s+9s+8s+8s	18% 4s+12s+12s+12s	2% 5s+14s+14s+14s
G2	80% 4s+9s+6s+10t	18% 4s+12s+9s+15t	2% 5s+14s+10s+18t
G3	80% 4s+14t+8s+8s	18% 4s+20t+12s+12s	2% 5s+25t+14s+14s
G4	80% 4s+14t+6s+10t	18% 4s+20t+9s+15t	2% 5s+25t+10s+18t
H1	75% 4s+8s+9s	22% 4s+10s+12s	3% 5s+14s+14s
H2	75% 4s+8s+15tr	22% 4s+10s+20tr	3% 5s+14s+28tr
H3	70% 4s+7s+16tr	26% 4s+10s+24tr	4% 4s+14s+32tr
I1	95% 5s+9s	5% 5s+12s	

Através dos espectro anterior, calcula-se o número de veículos pesados para cada tipo de carga. A seguinte tabela resume a quantidade de veículos por subcategoria para Vilar 1º sentido, de forma a facilitar nos cálculos do número de passagens por eixo (N). Ao número de veículos multiplica-se pela percentagem de cada caso.

Tabela 24 – Distribuição das Cargas Vilar 1º Sentido

Vilar 1º Sentido					
Sub-Categorias	Nº de Veículos	Carga Típica	Próximo Limite Legal	Carga Máxima	Total
F1	211	190	20	1	211
F2	7	6	1	0	7
G1	3	2	1	0	3
G2	0	0	0	0	0
G3	0	0	0	0	0
G4	3	2	1	0	3
H1	3	2	1	0	3
H2	12	9	3	0	12
H3	14	10	3	1	14
I1	66	63	3	0	66

O tráfego em causa é da classe T4, retirado das tabelas do MACOPAV, visto que o tráfego médio diário anual de pesados está compreendido entre os 300 e os 500 veículos para as quatro situações.

Tabela 25 - Fatores de Agressividade e Taxas de Crescimento em Função da Classificação do Tráfego (MACOPAV, 1995)

Classe	TMDAp	Taxa de crescimento anual (%) ^a	Factores de agressividade		
			Pavimentos flexíveis		Pavimentos rígidos e semi-rígidos
			Eixo 80 kN ^b	Eixo 130 kN ^c	Eixo 130 kN ^b
T ₇	< 50		Estudo específico		
T ₆	50 - 150	3	2	0,29	0,5
T ₅	150 - 300		3	0,43	0,6
T ₄	300 - 500	4	4	0,57	0,7
T ₃	500 - 800		4,5	0,65	0,8
T ₂	800 - 1200	5	5	0,72	0,9
T ₁	1200 - 2000		5,5	0,79	1,0
T ₀	> 2000		Estudo específico		

Assim, para a classe T4 a taxa de crescimento anual recomendada pelo MACOPAV é de 4%, com um o período de vida útil considerado de 20 anos. Como ao fim-de-semana o tráfego é menos intenso, considerou-se que será metade do tráfego semanal. O cálculo do número de passagens por eixo (N) é dado por:

$$N = TMDAp * g * n^{\text{dias}} \rightarrow N = TMDAp * g * 269 + TMDAp * g * 96 * 0,5$$

Onde:

TMDAp – Tráfego Médio Diário Anual de Pesados

$$g = \sum_{i=1}^n \left(1 + \frac{tx}{100}\right)^{n-1} \rightarrow g = \sum_{i=1}^{20} \left(1 + \frac{4}{100}\right)^{20-1} \cong 30$$

Os valores de 269 da fórmula anterior representam os dias úteis, de segunda a sexta e 96 os dias de fim-de-semana, que são multiplicados por 0,5 respetivamente a metade do tráfego semanal. Assim, para o cálculo do N em Vilar 1º sentido na subcategoria F1 em carga típica obtém-se:

$$N_{F1 CT} = 190 * 30 * 269 + 190 * 30 * 96 * 0,5 = 1806900$$

A seguinte tabela apresenta o resultado final do cálculo do N para Vilar 1º sentido, respetivamente para cada subcategoria e para os três tipos de cargas baseadas no processo de cálculo explicado anteriormente.

Tabela 26 – Valor da Carga Anual por Subcategorias em Toneladas para Vilar 1º Sentido

Sub-Categorias	Carga Típica	Próximo Limite Legal	Carga Máxima
F1	1806900	190200	9510
F2	57060	9510	0
G1	19020	9510	0
G2	0	0	0
G3	0	0	0
G4	19020	9510	0
H1	19020	9510	0
H2	85590	28530	0
H3	95100	28530	9510
I1	599130	28530	0

Os valores do número de eixos equivalentes para 80 KN e 130 KN são calculados pelas seguintes expressões:

$$N_{80\text{ KN}} = N^{\circ} \text{ Eixos} * \left(\frac{\text{Eixo simples}}{80} \right)^4$$

$$N_{130\text{ KN}} = N^{\circ} \text{ Eixos} * \left(\frac{\text{Eixo simples}}{130} \right)^{12}$$

Os valores do nº de eixos e do eixo simples das anteriores expressões estão calculados na seguinte tabela.

Tabela 27 – Valor da Carga Anual por Eixos em Toneladas para Vilar 1º Sentido

Tipo	Eixo (ton)	Eixo Simples (kN)	Nº Eixos (ton.)	Nº Equivalente 80 (kN)	Nº Equivalente 130 (kN)
Simples	4	39,24	2396520	138719,37	1,37
	5	49,05	637170	90043,30	5,30
	6	58,86	19020	5573,55	1,411
	7	68,67	95100	51628,41	44,88
	8	78,48	142650	132113,68	334,24
	9	88,29	2453580	3639873,93	23627,52
	10	98,1	66570	150520,15	2269,79
	12	117,72	256770	1203885,95	78059,74
Tanden	14	137,34	19020	165210,92	36766,71
	10	55,819	19020	4507,914	0,75
	14	78,15	76080	69270,42	169,38
	15	83,73	9510	11410,66	48,45
	18	100,47	0	0	0
	20	111,64	19020	72126,63	3059,32
Triden	25	139,55	0	0	0
	15	73,43	85590	60744,41	90,25
	16	78,32	95100	87373,29	217,54
	20	97,90	28530	63994,11	949,68
	24	117,48	28530	132698,19	8467,42
	28	137,07	0	0	0
	32	156,65	9510	139797,27	89103,48
			Total	6.219.492,16	243.217,24

O valor do eixo simples é obtido multiplicando o eixo por 9,81, sendo o número de eixos o somatório da quantidade de veículos pesados para determinado eixo. Olhando para o eixo 4 tipo simples da tabela 27, o número de eixos é o somatório das cargas da tabela 26, que contenham o eixo 4s na tabela 23. Neste caso são todas as subcategorias da carga típica e carga próximo do limite legal e a subcategoria H3 da carga máxima.

O cálculo do eixo equivalente de 80 kN e 130 kN é o fundamental, pois será utilizado mais tarde em dimensionamento, implicando a realização de três tabelas de cálculo para cada uma das situações, para determinar o caso mais gravoso. Apresenta-se de seguida as tabelas para o cálculo do N80 e N130 da Rua de Vilar no 2º sentido.

Tabela 28 - Distribuição das Cargas Vilar 2º Sentido

Vilar 2º sentido					
Sub-Categorias	Nº de Veículos	Carga Típica	Próximo Limite Legal	Carga Máxima	Total
F1	257	231	25	1	257
F2	3	3	0	0	3
G1	3	2	1	0	3
G2	0	0	0	0	0
G3	0	0	0	0	0
G4	3	2	1	0	3
H1	23	17	5	1	23
H2	7	5	2	0	7
H3	19	13	5	1	19
I1	66	63	3	0	66

A diferença no cálculo do N para as diferentes situações baseia-se na totalidade e distribuição de tráfego existente para cada rua e em cada sentido. Assim, o único pormenor que muda reside na coluna do nº de veículos, visto que o espectro é igual e todo o restante processo de cálculo também.

Tabela 29 - Valor da Carga Anual por Subcategorias em Toneladas para Vilar 2º Sentido

Sub-Categorias	Carga Típica	Próximo Limite Legal	Carga Máxima
F1	2196810	237750	9510
F2	28530	0	0
G1	19020	9510	0
G2	0	0	0
G3	0	0	0
G4	19020	9510	0
H1	161670	47550	9510
H2	47550	19020	0
H3	123630	47550	9510
I1	599130	28530	0

Tabela 30 - Valor da Carga Anual por Eixos em Toneladas para Vilar 2º Sentido

Tipo	Eixo (ton.)	Eixo Simples (KN)	Nº Eixos (ton.)	Nº Equivalente 80 (KN)	Nº Equivalente 130 (KN)
Simples	4	39,24	2976630	172298,26	1,70
	5	49,05	646680	91387,23	5,38
	6	58,86	19020	5573,55	1,41
	7	68,67	123630	67116,93	58,35
	8	78,48	247260	228997,05	579,35
	9	88,29	2986140	4429924,09	28755,98
	10	98,10	114120	258034,54	3891,08
	12	117,72	342360	1605181,27	104079,65
Tanden	14	137,34	38040	330421,83	73533,43
	10	55,82	19020	4507,91	0,75
	14	78,15	47550	43294,01	105,86
	15	83,73	9510	11410,66	48,45
	18	100,47	0	0	0
	20	111,64	9510	36063,32	1529,66
Triden	25	139,55	0	0	0
	15	73,43	47550	33746,90	50,14
	16	78,32	123630	113585,28	282,80
	20	97,90	19020	42662,74	633,11
	24	117,48	47550	221163,65	14112,37
	28	137,07	0	0	0
	32	156,65	9510	139797,27	89103,48
			Total	7.835.166,50	316.772,95

Apresenta-se de seguida as tabelas resultantes para da Rua de Cabeda 1º sentido.

Tabela 31 - Distribuição das Cargas Cabeda 1º Sentido

Cabeda 1º sentido					
Sub-Categorias	Nº Veículos	Carga Típica	Próximo Limite Legal	Carga Máxima	Total
F1	189	170	18	1	189
F2	26	22	4	0	26
G1	0	0	0	0	0
G2	8	6	2	0	8
G3	4	3	1	0	4
G4	3	2	1	0	3
H1	18	13	4	1	18
H2	0	0	0	0	0
H3	7	5	2	0	7
I1	19	18	1	0	19

Tabela 32 - Valor da Carga Anual por Subcategorias em Toneladas para Cabeda 1º Sentido

Sub-categorias	Carga Típica	Próximo Limite Legal	Carga Máxima
F1	1616700	171180	9510
F2	209220	38040	0
G1	0	0	0
G2	57060	19020	0
G3	28530	9510	0
G4	19020	9510	0
H1	123630	38040	9510
H2	0	0	0
H3	47550	19020	0
I1	171180	9510	0

Tabela 33 - Valor da Carga Anual por Eixos em Toneladas para Cabeda 1º Sentido

Tipo	Eixo (ton.)	Eixo Simples (KN)	Nº Eixos (ton.)	Nº Equivalente 80 (KN)	Nº Equivalente 130(KN)
Simples	4	39,24	2406030	139269,84	1,38
	5	49,05	199710	28222,53	1,66
	6	58,86	76080	22294,18	5,65
	7	68,67	47550	25814,205	22,44
	8	78,48	142650	132113,68	334,24
	9	88,29	1997100	2962688,09	19231,70
	10	98,10	57060	129017,27	1945,54
	12	117,72	256770	1203885,95	78059,74
Tanden	14	137,34	28530	247816,37	55150,07
	10	55,82	76080	18031,66	2,99
	14	78,15	256770	233787,65	571,66
	15	83,73	28530	34231,97	145,36
	18	100,47	0	0	0
	20	111,64	57060	216379,89	9177,97
Triden	25	139,55	0	0	0
	15	73,43	0	0	0
	16	78,32	47550	43686,65	108,77
	20	97,90	0	0	0
	24	117,48	19020	88465,46	5644,95
	28	137,07	0	0	0
	32	156,65	0	0	0
			Total	5.525.705,41	170.404,11

Por último, apresentam-se as tabelas resultantes para Cabeda 1º sentido.

Tabela 34 - Distribuição das Cargas Cabeda 2º Sentido

Cabeda 2º sentido					
Sub-Categorias	Nº Veículos	Carga Típica	Próximo Limite Legal	Carga Máxima	Total
F1	214	193	20	1	214
F2	20	17	3	0	20
G1	0	0	0	0	0
G2	0	0	0	0	0
G3	3	2	1	0	3
G4	0	0	0	0	0
H1	14	11	3	0	14
H2	7	5	2	0	7
H3	7	5	2	0	7
I1	19	18	1	0	19

Tabela 35 - Valor da Carga Anual por Subcategorias em Toneladas para Cabeda 2º Sentido

Sub-Categorias	Carga Típica	Próximo Limite Legal	Carga Máxima
F1	1835430	190200	9510
F2	161670	28530	0
G1	0	0	0
G2	0	0	0
G3	19020	9510	0
G4	0	0	0
H1	104610	28530	0
H2	47550	19020	0
H3	47550	19020	0
I1	171180	9510	0

Tabela 36 - Valor da Carga Anual por Eixos em Toneladas para Cabeda 2º Sentido

Tipo	Eixo (ton.)	Eixo simples (KN)	Nº Eixos (ton.)	Nº Equivalente 80 (KN)	Nº Equivalente 130 (KN)
Simples	4	39,24	2510640	145325,05	1,44
	5	49,05	190200	26878,60	1,58
	6	58,86	0	0	0
	7	68,67	47550	25814,21	22,44
	8	78,48	171180	158536,42	401,09
	9	88,29	2111220	3131984,55	20330,66
	10	98,10	66570	150520,15	2269,79
	12	117,72	247260	1159297,58	75168,64
Tanden	14	137,34	9510	82605,46	18383,36
	10	55,82	0	0	0
	14	78,15	180690	164517,24	402,28
	15	83,73	0	0	0
	18	100,47	0	0	0
	20	111,64	38040	144253,26	6118,65
Triden	25	139,55	0	0	0
	15	73,43	47550	33746,90	50,14
	16	78,32	47550	43686,65	108,77
	20	97,90	19020	42662,74	633,12
	24	117,48	19020	88465,46	5644,95
	28	137,07	0	0	0
	32	156,65	0	0	0
			Total	5.398.294,26	129.536,89

Analisando os resultados obtidos, em média os valores para o eixo equivalente de 80 kN rondam os 6.000.000 kN, enquanto que, os eixos equivalentes de 130 kN rondam os 200.000 kN. O valor mais crítico corresponde à Rua de Vilar 2º sentido com quase 8.000.000 kN para N80, sendo este o tráfego condicionante em dimensionamento do pavimento rodoviário.

6.2. Temperatura

As temperaturas foram retidas do manual MACOPAV, que contém os dados das temperaturas médias mensais do ar, recenseadas das estações climatológicas portuguesas no triénio entre 1950 e 1980. De todas as estações climatológicas, nenhuma correspondia diretamente à região de Valongo, o que levou adotar a solução de fazer uma média entre as estações climatológicas mais próximas de Valongo. As estações que melhor se adequaram aos requisitos foram as estações de Paços de Ferreira, Porto-Aeroporto e Santo Tirso. A tabela seguinte mostra as médias mensais do triénio de referência para as três estações climatológicas e a média mensal.

Tabela 37 – Temperatuas Médias Mensais do triénio entre 1950 e 1980

Meses	Paços de Ferreira (°C)	Porto – Aeroporto (°C)	Santo Tirso (°C)	Média (°C)
Jan	7,4	9,3	9	8,6
Fev	8,1	9,6	9,6	9,1
Mar	9,7	11,2	11,4	10,8
Abr	11,5	12,6	13,1	12,4
Mai	14,2	14,8	15,8	14,9
Jun	17,2	17	18,7	17,6
Jul	19,3	18,3	20,8	19,5
Ago	19,1	18,4	20,4	19,3
Set	17,7	17,8	19,0	18,2
Out	14,4	15,5	15,9	15,3
Nov	9,8	11,8	11,4	11,0
Dez	7,4	9,8	9,2	8,8

Para o cálculo da temperatura de serviço, optou-se pelo método da Shell, onde se calcula o fator de ponderação mensal (W_i) para de seguida se calcular a média ($W_{\text{médio}}$). O W_i calcula-se através da seguinte expressão:

$$W_{\text{fator}} = 0,0723 \times e^{0,1296 \times TMM_{\text{Ar}}}$$

Onde:

W_{fator} – Fator de ponderação mensal (-)

TMM_{Ar} – Temperatura média mensal do ar (°C)

Os resultados dos cálculos do W_{fator} para os meses do ano apresenta-se na seguinte tabela:

Tabela 38 – Cálculo do Fator de Ponderação Médio

Mês	TMM	W Fator
Jan	8,57	0,219
Fev	9,10	0,235
Mar	10,77	0,292
Abr	12,40	0,361
Mai	14,93	0,501
Jun	17,63	0,711
Jul	19,47	0,901
Ago	19,30	0,882
Set	18,17	0,761
Out	15,27	0,523
Nov	11,00	0,3008
Dez	8,80	0,226
W Fator médio		0,493

O cálculo da temperatura média mensal do ar é feito através da seguinte expressão:

$$TMM_{\text{Ap}} = 7,7068 \times \ln(W_{\text{fator médio}}) + 20,257$$

Onde:

TMM_{Ap} – Temperetura Média Mensal Anual de Ponderada

$W_{\text{fator médio}}$ – Fator de ponderação médio

$$TMM_{\text{Ap}} = 7,7068 \times \ln(0,492737) + 20,257 = 14,8^{\circ}\text{C}$$

Finalmente, obtém-se a temperatura de serviço através dos ábacos da Shell em função da TMMAP, nas diferentes camadas. Para dimensionamento considerou-se numa fase inicial utilizar 4 cm de camada de desgaste, 6 cm de camada de regularização e 10 cm de camada de base.

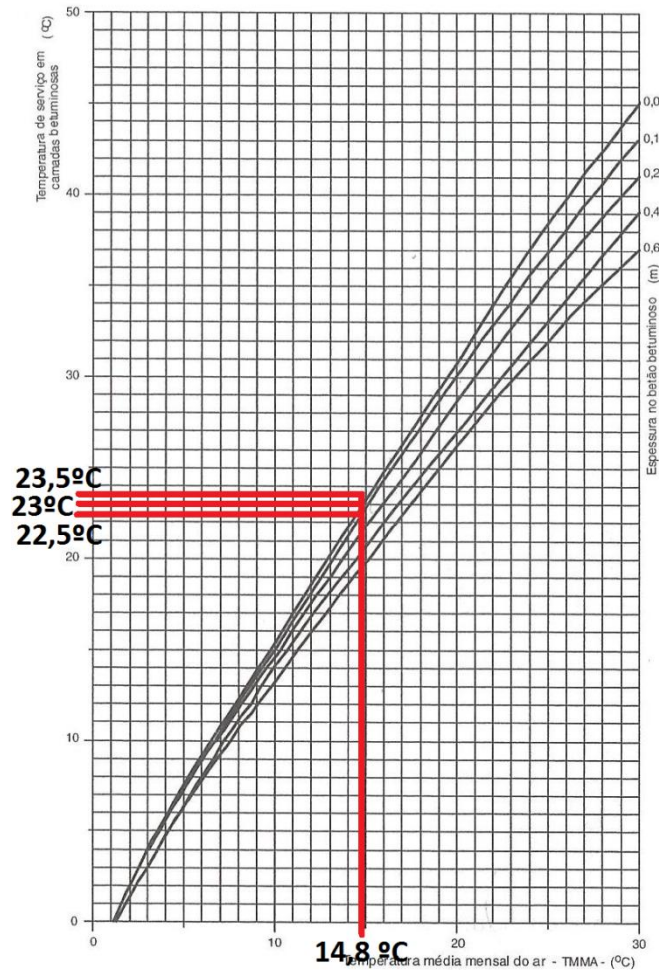


Figura 185 – Ábaco das Temperaturas de Serviço nas Camadas Betuminosas (Shell, 1977)

Traça-se uma linha na vertical (vermelho) e perpendicular ao eixo das abcissas, no ponto de TMMAP=14,8 °C. No ponto de interseção com as espessuras das camadas, traça-se uma linha horizontal e retira-se a temperatura de serviço. A tabela seguinte apresenta as temperaturas de serviço para as espessuras das camadas betuminosas, que serão utilizadas em dimensionamento.

Tabela 39 – Temperaturas de Serviço nas Novas Camadas Betuminosas Previstas

Espessuras (cm)	Temperatura de serviço (°C)
4	23,5
6	23
10	22,5

6.3. Dimensionamento e Soluções a Adotar

Inicialmente, como solução para este pavimento, foi pensado a utilização de três tipos de soluções diferentes e usadas em três tipos de casos consoante o nível de degradação, caracterizadas por soluções A, B e C. Estas soluções caracterizam o estado de degradação do pavimento. A solução A é usada em troços com um nível de degradação reduzido, apenas com fissuras superficiais de pequena dimensão. Esta solução consiste na reparação das fendas e colocação de uma camada de microbetão. A solução B caracteriza-se pelos troços onde o pavimento apresente um elevado nível de degradação e patologias profundas, passando a solução pela remoção total e colocação de um novo pavimento. Por último, a solução C diz respeito a determinados troços onde seja possível aproveitar parte do pavimento, em locais pontuais que não apresente níveis de degradações elevados. Nesta solução seria removido parte da faixa de rodagem que apresente patologias profundas, sendo colocado um pavimento novo, permanecendo o restante intacto.

A retirada das carotes permitiu concluir que o pavimento apresenta camadas betuminosas na ordem dos 10 cm de espessura, parecendo pouco para o tráfego verificado. A elaboração deste projeto não ficou apenas pela elaboração de uma solução base, mas pela elaboração de várias soluções para diversas situações, oferecendo uma variedade de soluções para o pavimento que melhor serva à via em causa.

6.3.1. Solução de Longo Prazo

Esta seria a melhor solução adotar, visto o pavimento estar quase na sua totalidade em rotura estruturada, apresentando um nível de degradação elevado, com grandes patologias. Esta solução consiste na fresagem do pavimento existente e colocação de um pavimento completamente novo, dimensionado para o tráfego atual. A sua principal vantagem é a qualidade do pavimento, onde este ficará muito mais resistente que nas outras soluções, tendo um período de vida útil mais elevado, correspondendo a 20 anos. Contudo, é uma solução mais dispendiosa.

Dimensionamento:

A seleção do tipo de betume a aplicar nas camadas betuminosas teve em conta o manual da CEPSA, tabela 4. Quanto ao agregado usar-se-á um agregado britado de granulometria extensa, com diâmetros entre 0 e 40 milímetros (0/40). O seguinte quadro apresenta os tipos de camadas por ordem, da superfície para o solo de fundação, bem como as suas características. A velocidade de tráfego para os veículos pesados considerada foi de 30 Km/h e o CBR de 8,5%.

Tabela 40 – Características das Novas Camadas do Pavimento a Definir

	1º Camada	Rega de Colagem	2º Camada	Rega de Colagem	3º Camada	Rega de Impregnação	4º Camada	5º Camada
Designação	AC14 surf (BB)	ECR-1	AC14 reg (BB)	ECR-1	AC32 base (MB)	ECL-1	ABGE 0/40	Solo
Função	Desgaste	Colagem	Regulização	Colagem	Base	Colagem	Sub-base	Fundação
Tipo de Camada	Betão Betuminoso	-	Betão Regulização	-	Macadame Betuminoso	-	Agregado Britado de Granulometria Extensa	Solo
Espessuras (cm)	4	-	6	-	10	-	20	-
Tipo de Betume	35/50	0,5 Kg/m ²	35/50	0,5 Kg/m ²	35/50	1,2 Kg/m ²	-	-
Resistência à Penetração	50	-	50	-	50	-	-	-
Temperatura de Amolecimento (°C)	58	-	58	-	58	-	-	-
Volume de Betume (%)	6	-	5,5	-	4,5	-	-	-
Volume de ar (%)	7	-	8	-	10	-	-	-
Coefficiente de Poisson	0,35	-	0,35	-	0,35	-	0,35	0,45
Temperatura de Serviço (°C)	23,5	-	23	-	22,5	-	-	-
Velocidade Base de Veículos Pesados	30 Km/h							
CBR	8,5%							

Para o dimensionamento o método utilizado foi o da Shell. É um método muito utilizado e já comprovado, o que garante fiabilidade no estudo.

Cálculo do módulo de deformabilidade (E).

O cálculo do módulo de deformabilidade para as camadas betuminosas é feito através de 12 passos. A maneira de calcular é igual para as três camadas, apenas alteram as incógnitas que diferem em cada camada. Para exemplo explicativo, os cálculos serão feitos para a 1ª camada, relativamente às outras, basta utilizar os dados da anterior tabela, para as respetivas camadas.

1º Passo: Cálculo do Volume de agregado

$$Va = 100 - Vb - Vv \rightarrow Va = 100 - 6 - 7 = 87\%$$

2º Passo: Cálculo do Sm108

$$\begin{aligned} Sm108 &= 8 + 5,68 \times 10^{-3} \times Va + 2,135 \times Va^2 \rightarrow Sm108 \\ &= 8 + 5,68 \times 10^{-3} \times 87 + 2,135 \times 87^2 = 10,110 \end{aligned}$$

3º Passo: Cálculo do Sm3109

$$\begin{aligned} Sm3109 &= 10,82 - \frac{1,342 \times (100 - Va)}{Va + Vb} \rightarrow Sm3109 = 10,82 - \frac{1,342 \times (100 - 87)}{87 + 6} \\ &= 10,632 \end{aligned}$$

4º Passo: Cálculo do S89

$$S89 = 1,12 \times \frac{Sm3109 - Sm108}{\text{Log}(30)} \rightarrow S89 = 1,12 \times \frac{10,63 - 10,11}{\text{Log}(30)} = 0,396$$

5º Passo: Cálculo do S68

$$S68 = 0,6 \times \log\left(\frac{1,37 \times Vb^2 - 1}{1,33 \times Vb - 1}\right) \rightarrow S68 = 0,6 \times \log\left(\frac{1,37 \times 6^2 - 1}{1,33 \times 6 - 1}\right) = 0,504$$

6º Passo: Cálculo do tempo de carga (Tc)

$$Tc = \frac{1}{Vbp} \rightarrow Tc = \frac{1}{30} = 0,033 \text{ s}$$

7º Passo: Cálculo do PEN 25r

$$PEN 25r = 0,65 \times PEN 25 \rightarrow PEN 25r = 0,65 \times 50 = 32,5$$

8º Passo: Cálculo do TABr

$$TABr = 99,13 - 26,35 \times \text{Log}(PEN 25r) \rightarrow TABr = 99,13 - 26,35 \times \text{Log}(32,5) = 59,92$$

9º Passo: Cálculo do Índice de penetração (IPEN)

$$IPEN = \frac{20 \times TABr + 500 \times \text{Log}(PEN\ 25r) - 1955,55}{TABr - 500 \times \text{Log}(PEN\ 25r) + 120,15} \rightarrow IPEN$$

$$= \frac{20 \times 59,292 + 500 \times \text{Log}(32,5) - 1955,55}{59,292 - 500 \times \text{Log}(32,5) + 120,15} = -0,133$$

10º Passo: Cálculo do Sb

$$Sb = 1,157 \times 10^{-7} \times tc^{-0,368} \times 2,718^{-IPEN} \times (TAB - Ts) \rightarrow Sb$$

$$= 1,157 \times 10^{-7} \times 0,033^{-0,368} \times 2,718^{0,133} \times (58 - 23,5) = 22,573\ MPa$$

11º Passo: Cálculo do A

$$A = \frac{S89 + S68}{2} \times (\text{Log}(Sb) - 8) + \frac{S89 - S68}{2} \times |\text{Log}(Sb) - 8| + Sm108 \rightarrow A$$

$$= \frac{0,396 + 0,504}{2} \times (\text{Log}(22,573) - 8) + \frac{= 0,396 - 0,504}{2}$$

$$\times |\text{Log}(22,573) - 8| + 10,11 = 9,784$$

12º Passo: Cálculo do módulo de deformabilidade da camada (Emb)

$$Emb = 10^A \rightarrow Emb = 10^{9,784} \times 10^{-6} = 6084,81\ MPa$$

Onde:

Vb – Volume de betume

Va – Volume de agregado

Tc – Tempo de carga

Vbp – Velocidade base dos veículos pesados

PENr – Penetração a 25°C de um betume asfáltico em serviço

TABr – Temperatura anel e bola em serviço

IPEN – Índice de penetração

Sb – Rigidez do betume

E mb – Módulo de deformabilidade em misturas betuminosas

Apresenta-se de seguida uma tabela com os resultados para as três camadas betuminosas.

Tabela 41 – Cálculo do Módulo de Deformabilidade das Camadas Betuminosas

1ª Camada - AC 14 Surf			2ª Camada - AC 16 Reg			3ª Camada - AC25 Base		
1º	Volume do agregado (Va) (%)	87	1º	Volume do agregado (Va) (%)	86,50	1º	Volume do agregado (Va) (%)	85,50
2º	Sm108	10,11	2º	Sm108	10,09	2º	Sm108	10,05
3º	Sm3109	10,63	3º	Sm3109	10,62	3º	Sm3109	10,60
4º	S89	0,40	4º	S89	0,41	4º	S89	0,42
5º	S68	0,50	5º	S68	0,48	5º	S68	0,44
6º	Tempo de carga (Tc) (s)	0,03	6º	Tempo de carga (Tc) (s)	0,03	6º	Tempo de carga (Tc) (s)	0,03
7º	PEN 25r	32,50	7º	PEN 25r	32,50	7º	PEN 25r	32,50
8º	T Abr	59,29	8º	T Abr	59,29	8º	T Abr	59,29
9º	IPEN	-0,13	9º	IPEN	-0,13	9º	IPEN	-0,13
10º	Sb (Mpa)	22,57	10º	Sb (Mpa)	24,26	10º	Sb (Mpa)	26,04
11º	A	9,78	11º	A	9,79	11º	A	9,79
12º	Emb (Mpa)	6084,82	12º	Emb (Mpa)	6181,83	12º	Emb (Mpa)	6174,35

O cálculo do módulo de deformabilidade para a camada de sub-base e para o solo de fundação é calculado de diferente maneira. A sub-base é calculada em função do solo de fundação e por isso calcula-se primeiro para o solo.

$$Ef = 10 \times CBR \rightarrow Ef = 10 \times 8,5 = 85 \text{ MPa}$$

Onde:

Ef – Módulo de deformabilidade na sub-base (MPa)

CBR – Índice Californiano de Capacidade de Suporte das Fundações (%)

$$Es = Ef \times 0,2 \times hs^{0,45} \rightarrow Es = 85 \times 0,2 \times 200^{0,45} = 184,46 \text{ MPa}$$

A tabela seguinte apresenta os módulos de deformabilidade para cada camada que entram no processo de cálculo do programa *Alize*.

Tabela 42 – Valores do Módulo de Deformabilidade das Respetivas Camadas

	Função	Módulo de Deformabilidade (MPa)
1º Camada	Desgaste	6100
2º Camada	Regularização	6200
3º Camada	Base	6200
4º Camada	Sub-base	185
5º Camada	Solo de Fundação	85

As extensões atuantes que o pavimento terá de resistir são calculadas através do programa *Alize*. Aqui faz-se a diferenciação do eixo de 80 kN e 130 kN, sendo os dados diferentes e apresentados na seguinte tabela.

Tabela 43 – Características de Pressão dos Eixos 80KN e 130 KN

P (kN)	L (mm)	r (mm)	p (kPa)	p (MPa)
80	315	105	0,00058	0,577
130	375	125	0,00066	0,662

O L representa a largura do veículo, o r o raio da roda e o p o peso do veículo pesado.

Os resultados do *Alize* são apresentados nas seguintes figuras para 80 kN e 130 kN respetivamente.

Alize-Lcpc - Results (Structure : data shown on the Structure screen, Reference load)

thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coeff.	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	6100,0 <i>bonded</i>	0,350	0,000	37,1	0,470	-26,1	0,575
			0,040	22,3	0,418	24,6	0,533
0,060	6200,0 <i>bonded</i>	0,350	0,040	22,3	0,425	23,7	0,533
			0,100	-14,7	0,004	45,3	0,307
0,100	6200,0 <i>bonded</i>	0,350	0,100	-14,7	0,004	45,3	0,307
			0,200	-93,6	-0,774	86,7	0,039
0,200	185,0 <i>bonded</i>	0,350	0,200	-93,6	-0,003	213,3	0,039
			0,400	-98,1	-0,015	170,3	0,022
infinite	85,0	0,450	0,400	-98,1	0,003	215,3	0,022

Figura 186 – Resultados do *Alize* para 80 kN

Alize-Lcpc - Results (Structure : data shown on the Structure screen, Reference load)

thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coeff.	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	6100,0 <i>bonded</i>	0,350	0,000	54,7	0,690	-51,8	0,659
			0,040	37,7	0,612	12,3	0,617
0,060	6200,0 <i>bonded</i>	0,350	0,040	37,7	0,622	11,3	0,617
			0,100	-15,9	0,013	54,2	0,382
0,100	6200,0 <i>bonded</i>	0,350	0,100	-15,9	0,013	54,2	0,382
			0,200	-135,3	-1,130	126,4	0,058
0,200	185,0 <i>bonded</i>	0,350	0,200	-135,3	-0,004	314,9	0,058
			0,400	-152,8	-0,023	260,8	0,033
infinite	85,0	0,450	0,400	-152,8	0,005	329,0	0,033

Figura 187 – Resultados do *Alize* para 130 kN

Na leitura do *Alize*, Eps significa as extensões e Sigma as pressões. Já o T é tração e Z é a deformação vertical. Assim, a primeira coluna traduz as extensões de tração, enquanto que a

segunda, as pressões de tração. As seguintes colunas representam as tensões e pressões verticais, respetivamente. Para analisar as extensões características que o pavimento vai estar sujeito, importa apenas olhar para as extensões horizontais na terceira camada e para as extensões verticais na camada de fundação. Isto acontece porque apenas importa ver a máxima tração e a máxima deformação vertical. A tração é apenas analisada nas camadas betuminosas, pois na camada granular não existem tensões de tração. Estas vão aumentando de valor à medida que vão descendo nas camadas, atingindo a tensão de tração máxima na terceira camada, sendo esta a mais preocupante. Relativamente às deformações verticais, estas são preocupantes na ligação entre a camada granular e o solo de fundação, onde existe a possibilidade de ocorrência de assentamentos caso as deformações nessa zona sejam excessivas. Para além disso, tal como acontecia nas tensão de tração, as tensões verticais aumentam à medida que percorrem as camadas, desde a superfície até à fundação, atingindo o valor máximo valor. Estas extensões estão rodeadas a vermelho nas anteriores figuras do *Alize* tendo na verificação à fadiga do pavimento de serem inferiores às extensões resistentes do pavimento, que se calculam pelas seguintes expressões:

$$\varepsilon t_{Adm} = (0,856 \times Vb + 1,08) \times Emb^{-0,36} \times N^{-0,2}$$

$$\varepsilon v_{Adm} = Ks \times N^{-0,25}$$

Onde:

Ks - Coeficiente que depende da probabilidade do pavimento, considerando que o pavimento não vai necessitar de reforço, por razões de deformação excessiva do solo, antes do final da vida útil ($Ks=0,018$)

N – Número de passagens por eixo (kN)

εv_{adm} – Extensão vertical admissível

εt_{adm} – Extensão de tração admissível

Como exemplo, apresenta-se o cálculo das extensões de tração e verticais na primeira camada do pavimento para o tráfego de Vilar 2º sentido com eixo padrão N80 kN. A verificação será feita apenas comparativamente com Vilar 2º sentido, por ser o caso mais gravoso, apresentando maior volume de tráfego, sendo o mais crítico e com extensões admissíveis mais reduzidas. Caso verifique para Vilar 2º sentido, então é certo que também verifica para os restantes casos.

$$\varepsilon t_{Adm} = \left((0,856 \times 6 + 1,08) \times 60,8 \times 10^8^{-0,36} \times 7,8 \times 10^6^{-0,2} \right) \times 10^6 = 78,05 \text{ microns}$$

$$\varepsilon v_{Adm} = \left(0,018 \times 7,8 \times 10^6^{-0,25} \right) \times 10^6 = 340,2 \text{ microns}$$

O resultado do cálculo para as restantes camadas é apresentado nas seguintes tabelas.

Tabela 44 - Extensões Admissíveis Vilar 2º Sentido

Vilar 2º Sentido							
Extensão Admissível de Tração						Extensão Admissível Vertical	
1ª Camada		2ª Camada		3ª Camada		Solo	
N80		N80		N80		N80	
ϵ_t	7,805E-05	ϵ_t	7,23E-05	ϵ_t	6,16E-05	ϵ_v	34,02
ϵ_t (micron)	78,05	ϵ_t (micron)	72,26	ϵ_t (micron)	61,60	ϵ_v (micron)	340,22
N130		N130		N130		N130	
ϵ_t	14,83E-05	ϵ_t	13,70E-05	ϵ_t	11,70E-05	ϵ_v	75,87
ϵ_t (micron)	148,26	ϵ_t (micron)	137,27	ϵ_t (micron)	117,02	ϵ_v (micron)	758,73

É feita de seguida a verificação à fadiga do pavimento na seguinte tabela.

Verificação:

Tabela 45 – Verificação das Extensões no Pavimento para Solução de Longo Prazo

N (kN)	ϵ_t Admissível (microns)	ϵ_t Atuante (microns)	ϵ_v Admissível (microns)	ϵ_v Atuante (microns)	Verificação
80	61,6	< 93,6	340,22	> 215,3	Não
130	132,5	< 135,3	758,7	> 329,0	Não

Conclui-se que verifica para as extensões verticais em ambas as cargas, mas não verifica nas extensões de tração, pelo que esta solução não verifica na resistência à fadiga.

As variáveis do tráfego e da temperatura são constantes, logo a única possibilidade é alterar as camadas, dando-lhes maior resistência. Assim, a solução passa por aumentar o módulo de deformabilidade da camada de base. Utilizando um macadame betuminoso de alto módulo (MBAM) com um volume de betume de 8% e uma resistência à penetração 10/20 na camada de base, aumenta-se o módulo de deformabilidade dessa camada.

Em termos de verificação à fadiga, o ideal é deixar uma pequena folga de cerca de 5 microns entre as extensões admissíveis e as atuantes, para compensar possíveis falhas de dimensionamento, contabilização dos agentes degradadores ou capacidade resistente dos materiais.

Apresenta-se de seguida, as alterações na terceira camada, quer nas suas características, quer nos valores apresentados no processo de cálculo.

Tabela 46 – Cálculo das Extensões Admissíveis para Mistura Betuminosa de Alto Módulo

3º Camada - Vilar 2º Sentido				
Características		Processo de cálculo		
Designação	AC20 bin (MBAM)	1º	Volume do Agregado (va) (%)	86
Função	Base	2º	Sm108	10,07
Tipo de Camada	Macadame betuminoso de Alto Módulo	3º	Sm3109	10,62
Espessuras (cm)	10	4º	S89	0,42
Tipo de Betume	10/20	5º	S68	0,57
Resistência à Penetração	20	6º	Tempo de Carga (tc) (s)	0,03
Temperatura de Amolecimento (°C)	76	7º	PEN 25r	13,00
Volume de Betume (%)	8	8º	T Abr	69,78
Volume de ar (%)	6	9º	IPEN	-0,02
Coefficiente de Poisson	0,35	10º	Sb (Mpa)	181,33
Temperatura de Serviço (°C)	22,5	11º	A	10,18
Velocidade Base de Veículos Pesados	20 Km/h	12º	E mb (Mpa)	14990,86
CBR	8,50%	13º	Et (micron) - 80 KN	71,95
		14º	Et (micron) - 130 KN	136,68
		15º	Ev (micron) - 80 KN	340,22
		16º	Ev (micron) - 130 KN	758,73

As restantes camadas mantêm-se exatamente iguais e por isso os Emb também se mantêm. Resta agora fazer a verificação, comparando com as extensões atuantes no pavimento.

Alize-Lcpc - Results (Structure : data shown on the Structure screen, Reference load)

thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coeff.	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	6100,0	0,350	0,000	37,3	0,430	-9,9	0,575
	bonded		0,040	21,4	0,410	28,4	0,555
0,060	6200,0	0,350	0,100	21,4	0,416	27,5	0,555
	bonded		0,100	5,1	0,156	28,9	0,360
0,100	15000,0	0,350	0,200	5,1	0,326	7,7	0,360
	bonded		0,200	-58,2	-1,187	53,3	0,030
0,200	185,0	0,350	0,400	-58,2	0,001	152,4	0,030
	bonded		0,400	-74,7	-0,011	136,4	0,018
infinite	85,0	0,450	0,400	-74,7	0,004	170,5	0,018

Figura 188 – Resultados do Alize para 80 kN com MBAM

Alize-Lcpc - Results (Structure : data shown on the Structure screen, Reference load)

thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coeff.	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	6100,0 <i>bonded</i>	0,350	0,000	58,7	0,664	-30,2	0,659
			0,040	37,1	0,608	16,1	0,640
0,060	6200,0 <i>bonded</i>	0,350	0,040	37,1	0,618	15,0	0,640
			0,100	9,6	0,213	30,8	0,440
0,100	15000,0 <i>bonded</i>	0,350	0,100	9,6	0,473	4,9	0,440
			0,200	-84,7	-1,742	78,1	0,045
0,200	185,0 <i>bonded</i>	0,350	0,200	-84,7	0,002	227,1	0,045
			0,400	-116,7	-0,016	210,3	0,028
infinite	85,0	0,450	0,400	-116,7	0,006	262,2	0,028

Figura 189 – Resultados do Alize para 130 kN com MBAM

Verificação:

Tabela 47 – Verificação das extensões no pavimento na solução de longo prazo com MBAM

N (kN)	εt Admissível (microns)	εt Atuante (microns)	εv Admissível (microns)	εv Atuante (microns)	Verificação		
80	72,0	>	58,2	340,2	>	170,5	Sim
130	136,7	>	84,7	758,7	>	262,2	Sim

Desta vez, as extensões admissíveis são maiores do que as extensões atuantes, logo, este pavimento verifica a resistência à fadiga, tendo condições para suportar o volume de tráfego inicialmente considerado, bem com as temperaturas. Percebe-se ainda, que existe uma margem que permite reajustar de maneira a reduzir as espessuras. Experimentou-se com uma espessura da camada de base de 8 cm.

Alize-Lcpc - Results (Structure : data shown on the Structure screen, Reference load)

thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coeff.	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	6100,0 <i>bonded</i>	0,350	0,000	44,3	0,512	-21,1	0,575
			0,040	24,6	0,456	23,0	0,548
0,060	6200,0 <i>bonded</i>	0,350	0,040	24,6	0,463	22,1	0,548
			0,100	2,8	0,114	28,7	0,329
0,080	15000,0 <i>bonded</i>	0,350	0,100	2,8	0,232	9,3	0,329
			0,180	-67,4	-1,381	62,0	0,036
0,200	185,0 <i>bonded</i>	0,350	0,180	-67,4	0,002	182,9	0,036
			0,380	-89,6	-0,013	161,5	0,021
infinite	85,0	0,450	0,380	-89,6	0,004	202,1	0,021

Figura 190 – Resultados do Alize para o Reajuste com MBAM em 80kN

Alize-Lcpc - Results (Structure : data shown on the Structure screen, Reference load)

thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coeff.	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	6100,0	0,350	0,000	66,4	0,765	-46,2	0,659
	bonded		0,040	41,6	0,671	8,4	0,630
0,060	6200,0	0,350	0,040	41,6	0,682	7,4	0,630
	bonded		0,100	6,2	0,151	31,1	0,398
0,080	15000,0	0,350	0,100	6,2	0,328	7,6	0,398
	bonded		0,180	-96,9	-2,007	89,9	0,054
0,200	185,0	0,350	0,180	-96,9	0,004	270,3	0,054
	bonded		0,380	-139,4	-0,020	247,6	0,033
infinite	85,0	0,450	0,380	-139,4	0,007	308,9	0,033

Figura 191 – Resultados do Alize para o Reajuste de MBAM em 130kN

Verificação:

Tabela 48 – Verificação das Extensões no Pavimento na Solução de Longo Prazo com MBAM com Reajuste das Espessuras

N (kN)	εt Admissível (microns)		εt Atuante (microns)	εv Admissível (microns)		εv Atuante (microns)	Verificação
80	72,0	>	67,4	340,2	>	202,1	Sim
130	136,7	>	96,9	758,7	>	308,9	Sim

A verificação continua a satisfazer os quatros critérios e com a folga assegurada, onde no caso da primeira condição, que as extensões são mais aproximadas, a diferença entre 72 e 67,4 é aproximadamente 5 microns. Não é possível fazer mais nenhum reajuste sob pena de não verificar o dimensionamento e a folga.

Outra possibilidade é aumentar o módulo de deformabilidade na sub-base, através de um agregado britado de granulometria extensa tratado com cimento (ABGEC). Definiu-se um módulo de deformabilidade de 1000 Mpa. A obtenção deste valor terá de ser feita em laboratório, definindo qual a percentagem de cimento a misturar no agregado até se obter os 1000 MPa, sendo a percentagem mínima de cimento de 3%, como se pode ver na seguinte tabela.

Tabela 49 – Requisitos dos Agregados de Granulometria Extensa Tratados com Cimento Aplicados em Camadas de Base e de Sub-base (CEPSA, 2007).

Propriedades		Requisitos
Composição da mistura	% de ligante mínima	3%
	Teor em água mínimo	A declarar
	Granulometria	A declarar
Comportamento mecânico (classe de resistência)	Resistência à compressão característica (Rck), MPa	Valor definido em projeto

Apresenta-se agora os resultados do Alize com um ABGEC na camada de sub-base.

Alize-Lcpc - Results (Structure : data shown on the Structure screen, Reference load)

thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coeff.	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	6100,0 bonded	0,350	0,000	20,9	0,303	-7,1	0,575
			0,040	15,6	0,327	34,2	0,539
0,060	6200,0 bonded	0,350	0,040	15,6	0,332	33,3	0,539
			0,100	-10,8	0,056	44,1	0,333
0,100	6200,0 bonded	0,350	0,100	-10,8	0,056	44,1	0,333
			0,200	-56,9	-0,444	58,3	0,078
0,200	1000,0 bonded	0,350	0,200	-56,9	-0,039	98,9	0,078
			0,400	-82,5	-0,112	91,7	0,017
infinite	85,0	0,450	0,400	-82,5	0,002	176,1	0,017

Figura 192 – Resultados do Alize para ABGEC em 80kN

Alize-Lcpc - Results (Structure : data shown on the Structure screen, Reference load)

thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coeff.	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	6100,0 bonded	0,350	0,000	33,2	0,459	-24,1	0,659
			0,040	28,4	0,478	26,2	0,626
0,060	6200,0 bonded	0,350	0,040	28,4	0,486	25,1	0,626
			0,100	-9,6	0,092	51,9	0,420
0,100	6200,0 bonded	0,350	0,100	-9,6	0,092	51,9	0,420
			0,200	-80,4	-0,643	84,4	0,112
0,200	1000,0 bonded	0,350	0,200	-80,4	-0,057	142,9	0,112
			0,400	-127,7	-0,171	138,2	0,026
infinite	85,0	0,450	0,400	-127,7	0,003	266,8	0,026

Figura 193 – Resultados do Alize para ABGEC em 130kN

Verificação:

Tabela 50 – Verificação das Extensões no Pavimento na Solução de Longo Prazo com ABGEC

N (kN)	εt Admissível (microns)	εt Atuante (microns)	εv Admissível (microns)	εv Atuante (microns)	Verificação
80	61,6	> 56,9	340,2	> 176,1	Sim
130	132,5	> 80,4	758,7	> 266,8	Sim

Verifica a resistência à fadiga nas quatro condições. Não é possível fazer um reajuste, pois na primeira condição já está maximizada a folga.

6.3.2. Solução de Médio Prazo

Esta solução é mais económica que a anterior, mas apresenta um período de vida útil inferior, com previsões entre 8 a 15 anos. A fresagem apenas será realizada na camada betuminosa, aproveitando a camada granular. Consiste em colocar apenas duas camadas betuminosas e uma rede de arame losango que faz a ligação com a camada de sub-base. Visto este pavimento ser menos resistente, não será possível considerar a mesma duração que os anteriores. Assim, para efeito de dimensionamento, será feito para 10 anos, o que implica uma reformulação no N80 e no N130 e que serão apresentados nas seguintes tabelas.

$$T = 10 \text{ anos} \rightarrow g = 12$$

Tabela 51 – Distribuição do Tráfego para T=10 anos

Sub-Categorias	Nº de Veículos	Carga Típica	Próximo Limite Legal	Carga Máxima
F1	977628	878724	95100	3804
F2	11412	11412	0	0
G1	11412	7608	3804	0
G2	0	0	0	0
G3	0	0	0	0
G4	11412	7608	3804	0
H1	87492	64668	19020	3804
H2	26628	19020	7608	0
H3	72276	49452	19020	3804
I1	108672696	239652	11412	

Tabela 52 – Cálculo no Nº Equivalente de 80kN e 130kN para T=10 anos

Tipo	Eixo	Eixo Simples	Nº Eixos	Nº Equivalente 80kN	Nº Equivalente 130kN
Simples	4	39,24	1190652	68919,31	0,68
	5	49,05	258672	36554,89	2,15
	6	58,86	7608	2229,42	0,56
	7	68,67	49452	26846,77	23,34
	8	78,48	98904	91598,82	231,74
	9	88,29	1194456	1771969,64	11502,39
	10	98,10	45648	103213,82	1556,43
	12	117,72	136944	642072,51	41631,86
Tanden	10	55,82	7608	1803,17	0,30
	14	78,15	19020	17317,60	42,34
	15	83,73	3804	4564,26	19,38
	18	100,47	0	0	0
	20	111,64	3804	14425,33	611,86
	25	139,55	0	0	0
Triden	15	73,43	19020	13498,76	20,06
	16	78,32	49452	45434,11	113,12
	20	97,90	7608	17065,10	253,25
	24	117,48	19020	88465,46	5644,95
	28	137,07	0	0	0
	32	156,65	3804	55918,91	35641,39
			Total	3.134.066,60	126.709,18

Projeto de Reabilitação da EM 607 no Concelho de Valongo

A constituição deste tipo de pavimento também sofre alterações em certas camadas. A tabela seguinte mostra as características deste pavimento.

Tabela 53 – Características das Camadas do Pavimento de Solução de Médio Prazo

	1º Camada	Rega de Colagem	2º Camada	Reforço	Rega de Impregnação	4º Camada	5º Camada
Designação	AC14 surf (BB)	ECR-1	AC14 reg (BB)	Rede de Arame	ECL-1	ABGE 0/40	Solo
Função	Desgaste	Colagem	Base	Resistência	Colagem	Sub-base	Fundação
Tipo de Camada	Betão Betuminoso	Emulsão Betuminosa		Rede de Arame	Emulsão Betuminosa	Agregado Britado de Granulometria Extensa	Solo
Espessuras (cm)	4	-	4	-	-	30	-
Tipo de Betume	35/50	0,5 Kg/m ²	10/20	-	1,2 Kg/m ²	-	-
Resistência à Penetração	50	-	20	-	-	-	-
Temperatura de Amolecimento (°C)	58	-	76	-	-	-	-
Volume de Betume (%)	6	-	8	-	-	-	-
Volume de ar (%)	7	-	6	-	-	-	-
Coefficiente de Poisson	0,35	-	0,35	-	-	0,35	0,45
Temperatura de Serviço (°C)	23,5	-	23,5	-	-	-	-
Velocidade Base de Veículos Pesados	30 Km/h						
CBR	8,50%						

Para o cálculo do módulo de deformabilidade, o processo é o mesmo que foi usado na solução de longo prazo. Assim, mostra-se na seguinte tabela o resultado do cálculo.

Tabela 54 – Cálculo do Módulo de Deformabilidade das Camadas Betuminosas na Solução de Médio Prazo

1ª Camada - AC 14 Surf			2ª Camada - AC 20 Bin		
1º	Volume do agregado (Va) (%)	87,00	1º	Volume do agregado (Va) (%)	86,00
2º	Sm108	10,11	2º	Sm108	10,07
3º	Sm3109	10,63	3º	Sm3109	10,62
4º	S89	0,400	4º	S89	0,419
5º	S68	0,504	5º	S68	0,572
6º	Tempo de carga (tc) (s)	0,033	6º	Tempo de carga (tc) (s)	0,033
7º	PEN 25r	32,50	7º	PEN 25r	13,00
8º	T Abr	59,29	8º	T Abr	69,78
9º	IPEN	-0,133	9º	IPEN	-0,023
10º	Sb (Mpa)	22,57	10º	Sb (Mpa)	165,01
11º	A	9,78	11º	A	10,16
12º	Emb (Mpa)	6084,82	12º	Emb (Mpa)	14409,84

Apresenta-se agora na seguinte tabela os cálculos das extensões admissíveis.

Tabela 55 – Cálculo das Extensões Admissíveis na Solução de Médio Prazo

Vilar 2º Sentido					
Extensão Admissível de Tração			Extensão Admissível Vertical		
1ª Camada		2ª Camada		Solo	
N80		N80		N80	
Et	9,37476E-05	Et	8,77E-05	Ev	42,80E-05
Et (micron)	93,75	Et (micron)	87,66	Ev (micron)	427,80
N130		N130		N130	
Et	17,81E-05	Et	16,65E-05	Ev	95,40E-05
Et (micron)	188,63	Et (micron)	166,53	Ev (micron)	954,05

Para concluir a verificação desta solução recorre-se ao *Alize*, onde os resultados apresentam-se nas seguintes figuras.

Alize-Lcpc - Results (Structure : data shown on the Structure screen, Reference load)

thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coeff.	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	6100,0 <i>bonded</i>	0,350	0,000	47,4	0,825	-123,7	0,575
			0,040	14,3	0,222	2,1	0,398
0,040	15000,0 <i>bonded</i>	0,350	0,040	14,3	0,518	-22,0	0,398
			0,080	-143,2	-2,942	134,2	0,139
0,300	225,0 <i>bonded</i>	0,350	0,080	-143,2	0,028	514,2	0,139
			0,380	-210,7	-0,047	317,0	0,041
infinite	85,0	0,450	0,380	-210,7	0,003	436,4	0,041

Figura 194 – Resultado do *Alize* para Pavimento Económico em 80kN

Alize-Lcpc - Results (Structure : data shown on the Structure screen, Reference load)

thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coeff.	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	6100,0 <i>bonded</i>	0,350	0,000	32,0	0,895	-169,8	0,659
			0,040	12,2	0,255	-6,5	0,466
0,040	15000,0 <i>bonded</i>	0,350	0,040	12,2	0,586	-34,8	0,466
			0,080	-190,7	-3,921	179,9	0,196
0,300	225,0 <i>bonded</i>	0,350	0,080	-190,7	0,039	715,2	0,196
			0,380	-322,9	-0,071	471,2	0,062
infinite	85,0	0,450	0,380	-322,9	0,004	647,7	0,062

Figura 195 – Resultado do *Alize* para Pavimento Económico em 130kN

Apresenta-se de seguida a verificação desta solução.

Verificação:

Tabela 56 – Verificação das Extensões na Solução de Médio Prazo

N (kN)	εt Admissível (microns)	εt Atuante (microns)		εv Admissível (microns)		εv Atuante (microns)		Verificação
		<		<		>		
80	87,7	<	143,2	<	427,8	<	436,4	Não
130	166,5	<	190,7	>	954,1	>	647,7	Não

Este pavimento não verifica, no entanto podem ser feitos alguns ajustes à solução proposta. Na camada de sub-base granular retirar 5 cm e aumentar na camada de base betuminosa 5 cm, passando para 9 cm e a sub-base ficará com 25 cm de espessura.

Alize-Lcpc - Results (Structure : data shown on the Structure screen, Reference load)

thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coeff.	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	6100,0 <i>bonded</i>	0,350	0,000	61,8	0,712	-43,0	0,575
			0,040	33,9	0,398	6,5	0,507
0,090	15000,0 <i>bonded</i>	0,350	0,040	33,9	0,970	-24,3	0,507
			0,130	-93,3	-1,921	86,3	0,061
0,250	205,0 <i>bonded</i>	0,350	0,130	-93,3	0,006	269,4	0,061
			0,380	-128,8	-0,024	213,7	0,028
infinite	85,0	0,450	0,380	-128,8	0,004	282,0	0,028

Figura 196 – Resultado do *Alize* para Pavimento Económico Corrigido em 80kN

Alize-Lpcc - Results (Structure : data shown on the Structure screen, Reference load)

thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coeff.	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	6100,0 <i>bonded</i>	0,350	0,000	77,4	0,948	-80,1	0,659
			0,040	44,6	0,508	-8,5	0,580
0,090	15000,0 <i>bonded</i>	0,350	0,040	44,6	1,242	-43,6	0,580
			0,130	-131,4	-2,718	121,8	0,089
0,250	205,0 <i>bonded</i>	0,350	0,130	-131,4	0,010	389,1	0,089
			0,380	-200,4	-0,037	326,0	0,043
infinite	85,0	0,450	0,380	-200,4	0,006	429,6	0,043

Figura 197 – Resultado do Alize para Pavimento Económico Corrigido em 130kN

Mesmo assim, apesar de ficar mais próximo ainda não verifica para um período de vida útil de 10 anos. Mas pode saber-se, quanto tempo esta solução resiste à fadiga do pavimento. Apresenta-se a tabela das extensões admissíveis para um período de vida útil de 8 anos já com os respetivos cálculos do tráfego retificados.

Tabela 57 – Extensões Admissíveis para T=8, g=9

Vilar 2º Sentido					
Extensão Admissível de Tração				Extensão Admissível Vertical	
1ª Camada		2ª Camada		Solo	
N80		N80		N80	
ε _t	9,93E-05	ε _t	9,29E-05	ε _v	46,00E-05
ε _t (micron)	99,30	ε _t (micron)	92,86	ε _v (micron)	459,71
N130		N130		N130	
ε _t	18,86E-05	ε _t	17,64E-05	ε _v	102,50E-05
ε _t (micron)	188,63	ε _t (micron)	176,39	ε _v (micron)	1025,19

Apresenta-se ainda a tabela das extensões admissíveis para um período de vida útil de 7 anos.

Tabela 58 – Extensões Admissíveis para T=7, g=8

Vilar 2º Sentido					
Extensão Admissível de Tração				Extensão Admissível Vertical	
1ª Camada		2ª Camada		Solo	
N80		N80		N80	
ε _t	10,17E-05	ε _t	9,51E-05	ε _v	47,30E-05
ε _t (micron)	101,67	ε _t (micron)	95,07	ε _v (micron)	473,44
N130		N130		N130	
ε _t	19,32E-05	ε _t	18,06E-05	ε _v	105,60E-05
ε _t (micron)	188,63	ε _t (micron)	180,59	ε _v (micron)	1055,83

A verificação para T=8 anos não verifica, mas já verifica para T=7 anos tal como se pode ver na seguinte verificação.

Verificação:

Tabela 59 – Verificação das Extensões na Solução de Médio Prazo para 7 anos

N (kN)	ϵ_t Admissível (microns)		ϵ_t Atuante (microns)	ϵ_v Admissível (microns)		ϵ_v Atuante (microns)	Verificação
80	95,1	>	93,3	473,4	>	282,4	Sim
130	180,6	>	131,4	1055,8	>	429,6	Sim

Contudo, existe uma componente que ainda não foi contabilizada para a verificação da resistência à fadiga, mas que faz parte desta solução, a rede de arame, visível na seguinte figura.



Figura 198 – Rede de Arame em Losango Galvanizada

Ainda não é conhecida a sua resistência, mas sabe-se que oferece uma contribuição positiva para o funcionamento do pavimento, onde na prática aumenta a sua resistência e durabilidade. A verificação para 8 anos ficou muito próximo, não satisfazendo apenas a primeira condição por 0,4 microns. Com a rede de arame, é quase certo que o pavimento resiste a 8 anos, podendo mesmo durar mais alguns. Mas, por uma razão de segurança e garantias, propõe-se ainda na mesma solução o aumento da camada de desgaste para 5cm.

Alize-Lcpc - Results (Structure : data shown on the Structure screen, Reference load)							
thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coeff.	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,050	6100,0	0,350	0,000	60,2	0,682	-36,2	0,575
			bonded	0,050	26,1	0,345	14,5
0,090	15000,0	0,350	0,050	26,1	0,833	-14,9	0,485
			bonded	0,140	-86,5	-1,780	80,0
0,250	204,0	0,350	0,140	-86,5	0,005	246,9	0,055
			bonded	0,390	-118,1	-0,022	197,8
infinite	85,0	0,450	0,390	-118,1	0,004	260,3	0,026

Figura 199 – Resultado do Alize para Pavimento Económico Corrigido Ajustado em 80kN

Verificação:

$$80KN \rightarrow \epsilon_{t_{Adm}} = 92,9 \text{ microns} > \epsilon_{t_{Atuante}} = 86,5 \text{ microns}$$

Está verificada a resistência à fadiga para este pavimento para um período de vida útil de 8 anos e satisfazendo a folga pretendida. Existe ainda a garantia de que com a rede de arame, o pavimento dure para além dos 8 anos definidos em projeto, acreditando que possa atingir cerca de 12 anos.

6.3.3. Solução – Curto Prazo

Esta solução consiste em aproveitar ao máximo o pavimento existente. É a solução mais económica, mas a menos consistente, com uma duração estimada de 5 anos. Consiste em aplicar uma camada betuminosa de 15 cm exclusivamente na zona dos rodados. Na camada granular, será retirado 5 cm de espessura para dar mais espaço às camadas betuminosas. As camadas betuminosas serão as mesmas dimensionadas na solução de médio prazo, com uma rede de arame em losango de 6 cm com espessura de arame de 2 mm, que faz a ligação da camada granular com as camadas betuminosas, 9 cm de betuminoso de alto módulo (MBAM), 5 cm de betão betuminoso (BB) e finalizado por todo o pavimento com 2 cm de microbetão betuminoso. Na zona dos rodados serão fresadas as camadas betuminosas para posterior aplicação das camadas descritas. Nas zonas onde o pavimento se encontre num estado de degradação reduzido, apenas será colocado uma camada de 2 cm de microbetão. Esta estratégia foi pensada para reforçar a zona de passagem dos veículos pesados aproveitando o restante pavimento. Apesar de não ser uma solução que confira muitas garantias, é uma solução de recurso, face as carências financeiras da Câmara Municipal de Valongo, dando alguma credibilidade ao pavimento em estudo e aumentando o seu período de vida útil por mais uns anos.

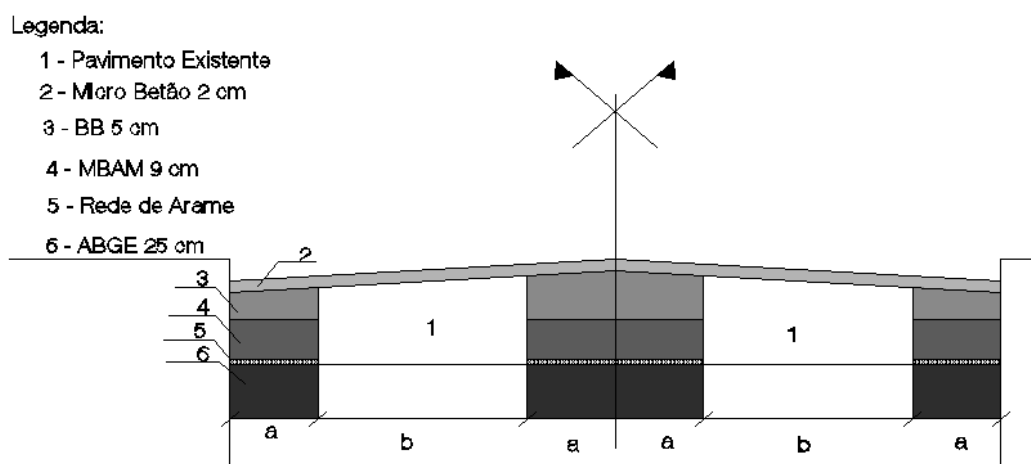
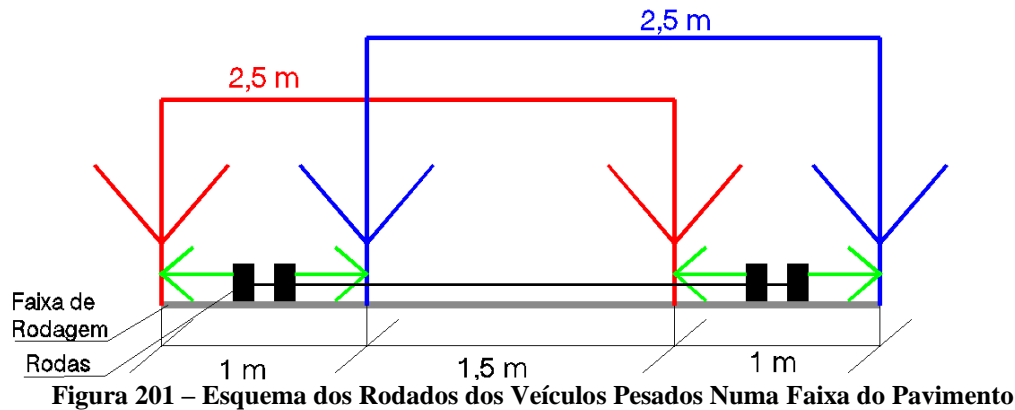


Figura 200 – Esquema Geral do Pavimento para a Solução de Curto Prazo

Dentro desta última solução existem dois critérios a definir, a largura de pavimento novo e do pavimento existente, representado por a e b na figura 200, onde as camadas pintadas referem as novas camadas. O mínimo admissível é $a=0,8$ metros e $b=1,9$ metros correspondente a permanecer a 55% do pavimento existente, pois é a largura mínimo que se poderá considerar ser circulada pelos veículos. A outra solução representa a solução ideal, com $a=1$ metro e $b=1,5$ metros correspondente 43%. Estas distâncias foram estabelecidas tendo em conta o local de circulação dos veículos pesados. Considerando que em média estes têm uma largura de 2,5 metros tentou-se perceber qual a sua possível largura de circulação.



Na figura 201, as setas representam as rodas dos veículos pesados que circulam sobre uma via do pavimento. Marcado a vermelho está o veículo a circular o mais junto possível da berma da estrada, enquanto que a azul, está o veículo que circula o mais possível junto do eixo da faixa de rodagem. As setas a verde indicam a largura possível que as rodas dos pesados podem percorrer. Como é possível ver, existe uma zona onde os veículos pesados não circulam, correspondendo a uma largura de 1,5 metros. A segunda opção, $a=1$ metros e $b=1,5$ metros, é muito mais conservadora que a que a primeira, que apesar de ser mais dispendiosa oferece maiores garantias.

6.4. Passeios

Os passeios na berma da estrada existem mas não obedecem às atuais medidas do Decreto de Lei 1.6.3. De qualquer das formas, não é obrigatório alterar o passeio já existente, podendo manter-se nas atuais medidas. Contudo, existe uma zona não urbanizada, que faz a ligação de Alfena a Valongo, que não possui qualquer passeio, onde a deslocação pedonal é feita pelas bermas da estrada. É importante criar um meio de deslocamento pedonal, onde seja possível fazer o descrito percurso a pé, até porque, ao longo do estudo deste pavimento foi visível que um considerável número de pessoas fazia esse percurso a pé. Para além disso, nos dias de hoje, tem-se assistido cada vez mais pessoas a caminhar como um meio saudável de lazer e a criação de um pavimento iria incentivar e promover a esta prática.

O passeio a construir terá 2,5 metros de largura, com 2% de inclinação. Começa ao 1+625 Km acabando em 3+425Km, tendo pelo meio uma interrupção entre 2+500 Km e 2+600 Km, porque essa zona é recente e já contém passeio. A figura seguinte mostra a cor vermelha a zona onde será construído um passeio novo.



Figura 202 – Passeio Novo

Este estará situado no lado do talude em aterro, no lado direito do 1º sentido, para evitar que, as águas provenientes do talude em escavação caiam sobre os passeios, dificultando a circulação pedonal e aumentando o seu desgaste, onde aumentariam o risco de essas águas atingirem o pavimento rodoviário. Em vez disso, os taludes em escavação terão valetas nas bermas, para facilitar a interceção das linhas águas que descem a ravina e intercetam a estrada.

Cálculo da área de passeio novo.

$$L = 3425 - 1625 - 100 = 1700 \text{ m, onde } L \text{ é o comprimento}$$

$$A = 1700 \times 2,5 = 4250 \text{ m}^2, \text{ onde } A \text{ é a área}$$

O passeio será constituído por três camadas, a primeira camada é uma camada de desgaste em betonilha esquadrelada com 5 cm. A segunda camada é uma camada de base em massame de betão com 10 cm e a última camada é a sub-base com material de granulometria extensa de 15 cm. O lancil apresenta dimensões de 0,15 metros de altura por 0,25 metros de largura em betão. Os pormenores construtivos do passeio podem ser vistos no desenho 7 dos anexos.

A construção de um novo passeio no troço definido não é uma obrigatoriedade mas sim uma proposta a considerar para o local em questão, que seria benéfico para moradores do concelho e aumentaria a estética do pavimento nesse troço. Contudo existe um impasse na

questão da construção do passeio, a faixa de rodagem existente contém 7 metros de largura, não permitindo qualquer redução e junto à via existem terrenos de propriedades privadas. A construção de um passeio implicaria uma negociação por parte da Câmara Municipal de Valongo com os proprietários para a cedência do espaço necessário para a construção do passeio. Existe ainda situações de muros que teriam de ser demolidos e reconstruídos em locais mais recuados.

6.4.1. Conclusão do Dimensionamento do Pavimento

Após concluir e estudar as três soluções, que podem ser vistos os seus perfis transversais no desenho 7 dos anexos, conclui-se que 8 cm de betuminoso é muito escasso para suportar o tráfego atual. Para este pavimento, tendo em conta o tráfego, foi necessário recorrer a betumes mais resistentes ou a sub-base de AGBE tratada com cimento. São sugeridas três soluções para três períodos de vida útil diferentes e com custos de execução também diferentes.

A solução de longo prazo é a mais recomendada por apresentar uma estrutura que oferece maiores garantias e dimensionada para um período de vida útil de 20 anos, contudo, é a mais dispendiosa e obriga à remoção por completo do pavimento existente.

A solução de médio prazo é vista como uma alternativa à solução de longo prazo, com um período de vida útil mínimo de 8 anos, mas que poderá ascender a mais alguns. Esta solução apenas obriga à remoção das camadas betuminosas do atual pavimento e tem um custo de construção moderado.

Por fim, a solução de curto prazo é a mais económica, mas apresenta várias limitações ao nível da resistência da sua estrutura, sendo apenas garantido por um período de vida útil mínimo de 5 anos, consistindo em aproveitar ao máximo o pavimento existente.

Como foi referido, a solução recomendada é a de longo prazo, mas devido às carências financeiras que a Câmara Municipal de Valongo apresenta, as outras duas podem também ser soluções credíveis.

7. Drenagem

7.1.Importância da Drenagem

A construção de uma infraestrutura rodoviária requer uma superfície plana de rolamento, implicando uma modelação do terreno natural através de terraplanagens, que alteram as condições de escoamento da água quer superficial, quer subterrânea. Contudo, é importante proporcionar um equilíbrio ou aproximar o máximo possível do ciclo hidrológico natural da água.

Como já foi referido ao longo deste trabalho, a água é um dos principais agentes degradadores dos pavimentos rodoviários, aumentando as fissurações superficiais que originam patologias mais graves e destruindo as ligações das camadas granulares, causando deformações e assentamentos diferenciais. Assim, se por um lado é importante assegurar que a água mantenha o seu normal escoamento, por outro é indispensável garantir que ela não atinge o pavimento em proporções insuportáveis para este. Estas duas condições são asseguradas pela drenagem superficial e longitudinal de um pavimento.

A drenagem de uma obra rodoviária é definida como um conjunto de dispositivos e estruturas hidráulicas que têm a função de assegurar o escoamento das águas pluviais dentro e fora da plataforma rodoviária, bem como a travessia do pavimento sem que as águas afetem a sua superfície.

7.2.Drenagem Transversal

O atravessamento de linhas de água nas vias de comunicação implica a existência de passagens hidráulicas (PH). As passagens hidráulicas são aquedutos ou pontões, indispensáveis à manutenção de adequadas condições de escoamento dos cursos de água atravessados, sendo constituídos por estrutura de entrada, conduta, estrutura de saída e caso necessário, estrutura de dissipação de energia. Para definir as passagens hidráulicas é necessário conhecer a localização das linhas de água, podendo ser identificadas na carta militar. Com a carta militar definem-se as bacias hidrográficas correspondentes a cada linha de água. As bacias hidrográficas são definidas tendo em conta as linhas de nível e os pontos de cota mais alta. As linhas de águas estão definidas a azul na carta militar, como é possível ver na figura seguinte, estando rodeados a verde e o ponto de cota mais alto a amarelo.

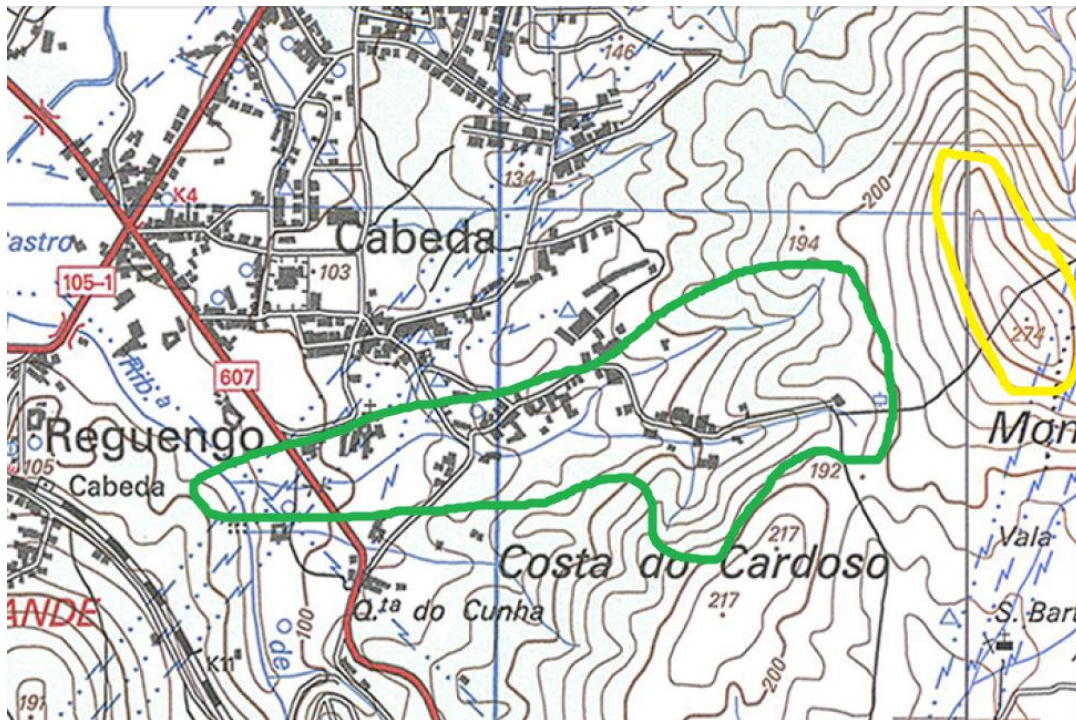


Figura 203 – Linhas de Água e Ponto de Cota Mais Alto

A linha de água marcada na figura 203 desagua na Ribeira de Cabeda, como acontece com a maioria das linhas de água, intercetando a estrada que está marcada na figura 203 a vermelho. Do lado direito do 1º sentido, encontra-se um talude em escavação e do lado esquerdo encontra-se a Ribeira de Cabeda com um talude em aterro, causando um movimento natural da água da chuva. Este movimento da água, de descida do talude para desaguar na Ribeira de Cabeda, atravessa o pavimento, tornando essencial existir de uma passagem hidráulica perto da berma do pavimento, que faça com que o movimento natural da água da chuva passe por baixo da estrada, através de uma tubagem subterrânea, impedindo que o pavimento seja afetado por essa água. Para desenhar a bacia hidrográfica, traça-se ao redor da linha de água a área afeta a essa linha de água. A cor amarela delimitou-se o cume, o ponto mais alto nas proximidades da linha de água. Do ponto da cota 274 (ponto mais alto da bacia) lineado a amarelo, a água da chuva divide-se e parte desce para a zona da estrada, como mostra na seguinte figura.

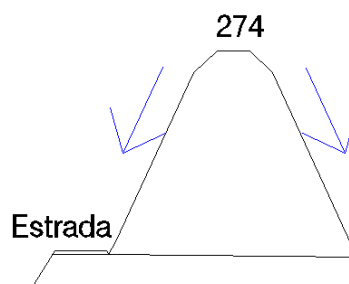


Figura 204 – Esquema do Escoamento da Água a Partir do Ponto de Cota Mais Alto

A seguinte figura mostra a delimitação da bacia, correspondente à linha de água da anteriormente descrita.

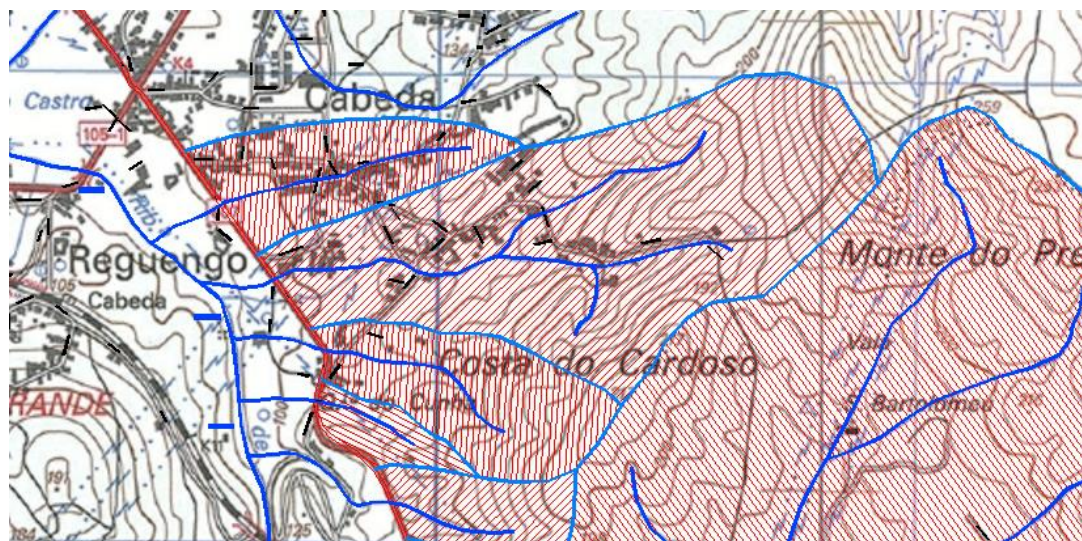


Figura 205 – Linhas de Água e Correspondentes Bacias Hidrográficas

A bacia hidrográfica está definida a azul claro e contorna a linha de água. É delimitada a partir do ponto de cota mais alto e fazendo passar pelos outros pontos que estejam nas redondezas da linha de água. De realçar um pormenor, em alguns casos as linhas de águas não estão definidos na carta militar, mas existem, apesar da sua menor dimensão. Localizam-se geralmente nas proximidades da estrada e com uma extensão bastante reduzida, o que origina bacias hidrográficas com pouca área. Contudo, tem uma contribuição significativa de caudal escoado, e por isso devem igualmente ser consideradas. A figura seguinte mostra a localização de algumas destas linhas de água.

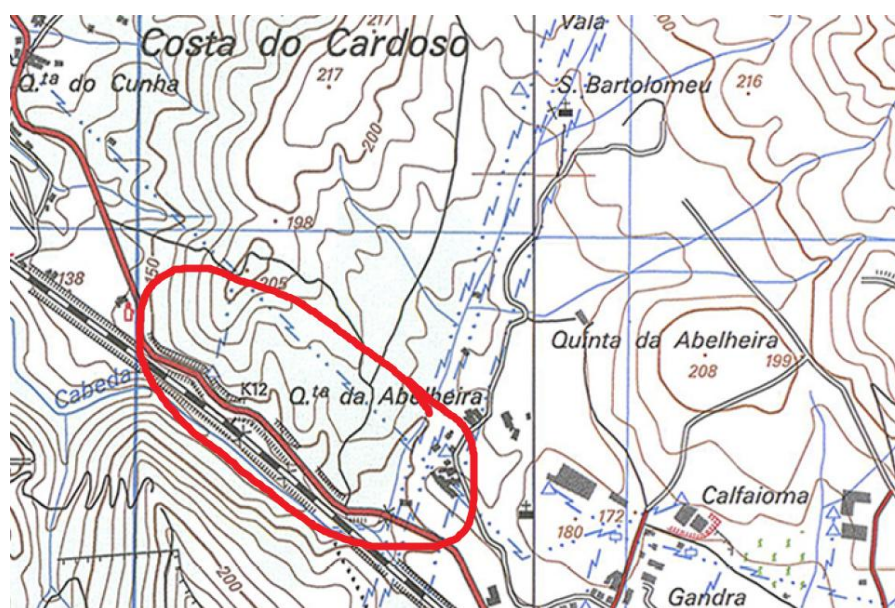


Figura 206 – Exemplo de uma Linha de Água não Representada na Carta Militar

A delimitação a cor vermelho assinalada na figura 206, mostra uma zona com pontos altos que não pertencem a nenhuma linha de água, mas que escoam as águas pluviais desses pontos até à Ribeira de Cabeda, intersetando o pavimento. A figura seguinte ilustra as linhas de águas originadas no local assinalado a vermelho na figura 206 e as respetivas bacias hidrográficas.

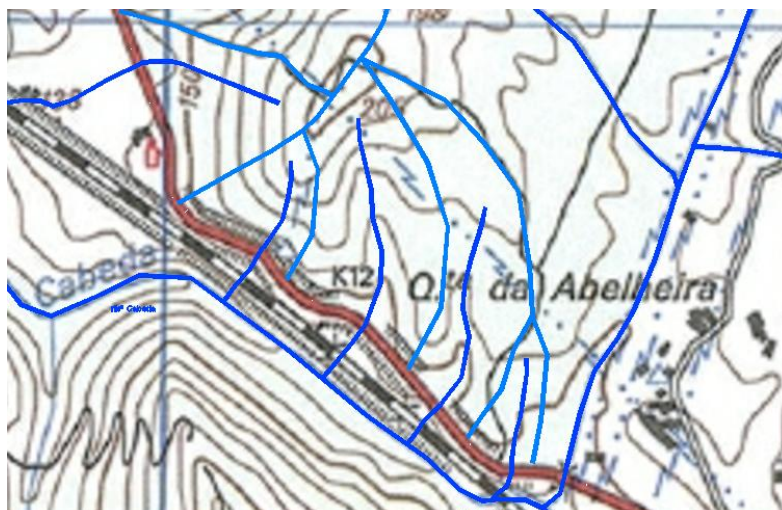


Figura 207 – Linhas de Água e Respetivas Bacias Hidrográficas não Representadas na Carta Militar

No total existem 13 bacias, podendo ser vistas na seguinte figura e mais pormenorizadamente no desenho 6 dos anexos. Estão definidas de diversas cores para uma melhor perceção.

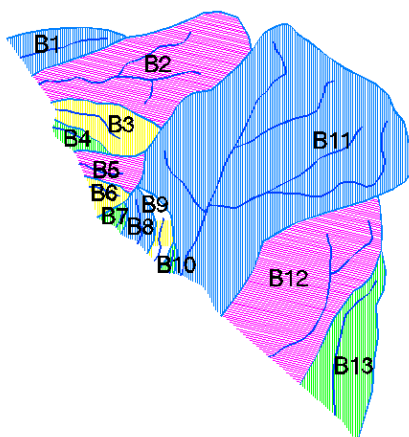


Figura 208 – Bacias Hidrográficas

Definidas as bacias hidrográficas e as linhas de águas, já é possível dimensionar as passagens hidráulicas. O caudal é calculado pela seguinte expressão:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$

Onde:

Q = Caudal (m³/s)

C= Coeficiente de escoamento (-)

I = Intensidade de precipitação (mm/h)

A = Área da bacia de drenagem (ha)

A intensidade de precipitação é calculada pela expressão:

$$I = a \times t^b$$

Onde:

a e b = São parâmetros das curvas I-D-F, estando tabelados, que dependem da zona do país e do tempo de retorno.

t = Representa o tempo de concentração que é calculado pela seguinte expressão:

$$tc = 0,3 \times \left(\frac{L}{J^{0,25}} \right)^{0,76}, \text{mínimo regulamentar 10 minutos}$$

Onde:

tc = Tempo de concentração (h)

L = Comprimento da linha de água principal (Km)

J = Declive médio da linha de água principal (m/m)

Os parâmetros a e b podem ser retirados da seguinte tabela:

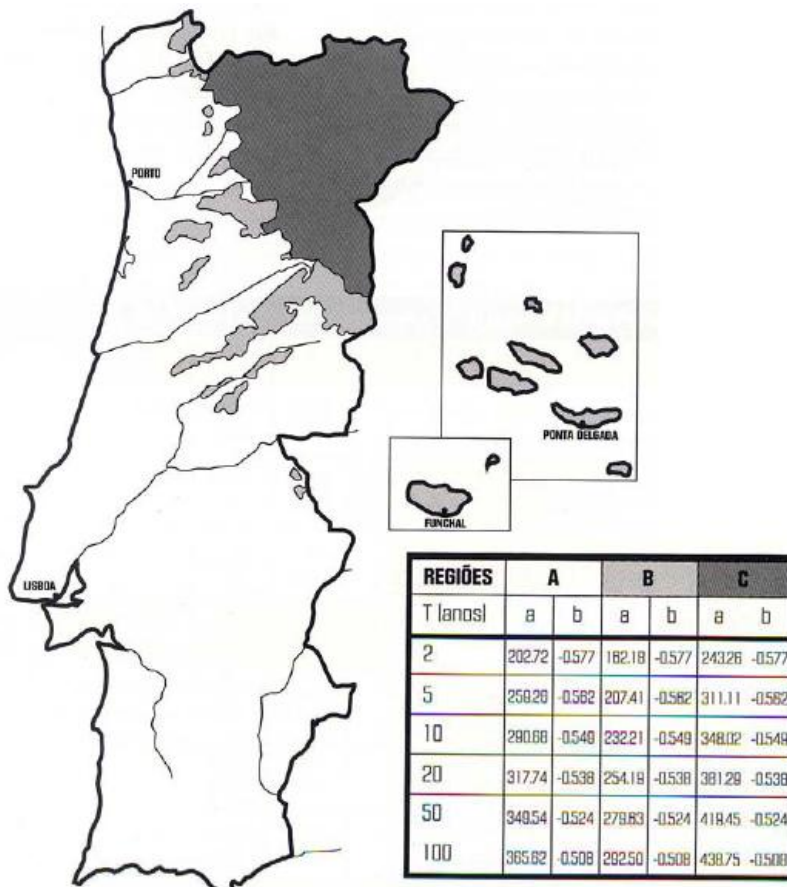


Figura 209 – Valores dos Coeficientes a e b (Portela, 2014)

Como o local da estrada em estudo situa-se no Porto e o dimensionamento é feito para um período de retorno de 20 anos, os parâmetros a e b são 317,74 e -0,538, respetivamente. Para dimensionar as passagens hidráulicas, iguala-se o caudal afluyente com o caudal admissível da secção da passagem hidráulica, dado pela expressão de Manning-Strickler:

$$Qa = Ks \times R_H^{\frac{2}{3}} \times J^{\frac{1}{2}} \times S$$

Onde:

Qa = Caudal admissível (m³/s)

Ks = Coeficiente de rugosidade de Manning-Strickler (m^{1/3}xs⁻¹)

J = Declive longitudinal (m/m)

R_H = Raio hidráulico (m)

S = Área da secção (m²)

O raio hidráulico para secções circulares calcula-se da seguinte forma:

$$R_H = \frac{\text{Área de superficie molhada}}{\text{Perimetro molhado da secção}} = \frac{Sm}{Pm} \rightarrow R_H = \frac{\pi \times r^2}{2 \times \pi \times r} = \frac{r}{2}$$

Para secções retangulares, considera-se uma altura de dois terços da base, calculando-se através da seguinte expressão:

$$R_H = \frac{\text{Área de superficie molhada}}{\text{Perimetro molhado da secção}} = \frac{Sm}{Pm} \rightarrow R_H = \frac{a \times \frac{2}{3} \times a}{2 \times a + 2 \times \left(\frac{2}{3} \times a\right)}$$

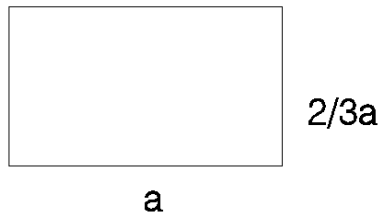


Figura 210 – Secção Retangular

A seguinte tabela apresenta os principais dados para o dimensionamento das passagens hidráulicas em causa.

Tabela 60 – Característica das Bacias Hidrográficas

Bacia	Forma da PH	C	Área (A) (ha ²)	Extensão da linha de Água (L)		Ponto da Estrada	Cota da Rasante (m)	Cota do Ponto Mais Alto (m)
				m	Km			
B1	Circular	0,8	11,2	542,6	0,54	1+675	100,95	133
B2	Circular	0,8	47,6	1037,8	1,04	1+875	102,81	186
B3	Circular	0,6	13,2	450,0	0,45	2+050	114,54	163
B4	Circular	0,4	3,2	231,9	0,23	2+150	115,88	137
B5	Circular	0,4	6,9	275,2	0,28	2+450	137,78	173
B6	Circular	0,4	3,4	188,8	0,19	2+600	146,51	188
B7	Circular	0,4	1,7	120,4	0,12	2+900	153,08	194
B8	Circular	0,4	4,9	273,6	0,27	3+075	149,69	193
B9	Circular	0,4	4,4	270,1	0,27	3+225	149,17	172
B10	Circular	0,4	1,0	134,3	0,13	3+350	150,36	160
B11	Retangular	0,6	152,8	1920,4	1,92	3+425	152,71	290
B12	Circular	0,4	57,2	1116,9	1,17	4+150	161,45	243
B13	Circular	0,4	30,5	893,0	0,89	4+675	158,45	190

A secção para a linha de água da bacia B11 é retangular devido a esta ter um elevado caudal. A área da passagem hidráulica e a extensão da linha de água é medida nas plantas do trabalho, desenho 6 dos anexos. Quanto à cota da rasante, esta é retirada do perfil longitudinal, no quilómetro da localização da passagem hidráulica. Já a cota do ponto mais alto é retirada na carta militar correspondendo ao ponto de início da linha de água. Relativamente ao C, este varia de local para local e pode ser assumido a partir da seguinte tabela e conforme a tipologia de terreno.

Tabela 61 – Coeficientes de Escoamento (Portela, 2012)

TIPOLOGIA DE OCUPAÇÃO	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO
Comercial:	
No centro da cidade	0.70 – 0.95
Nos arredores	0.50 – 0.70
Residencial:	
Habitacões unifamiliares	0.30 – 0.50
Prédios isolados	0.40 – 0.60
Prédios geminados	0.60 – 0.70
Suburbano	0.25 – 0.40
Industrial:	
Pouco denso	0.50 – 0.80
Muito denso	0.60 – 0.90
Parques e cemitérios	0.10 – 0.40
Campos de jogos	0.20 – 0.40
TIPOLOGIA DA SUPERFÍCIE	
Pavimento:	
Betuminoso	0.70 – 0.95
Betão de cimento	0.80 – 0.95
Passeios para peões	0.75 – 0.85
Coberturas (telhados)	0.75 – 0.95
Relvado sobre solo permeável:	
Plano 1%	0.05 – 0.1
Médio de 1 a 6%	0.10 – 0.15
Inclinado 6%	0.15 – 0.20
Relvado sobre solo impermeável:	
Plano 1%	0.13 – 0.17
Médio de 1 a 6%	0.18 – 0.22
Inclinado 6%	0.25 – 0.35

Para locais com habitacões nas redondezas, utilizam-se C=0,8, para locais com vegetação utilizam-se C=0,6 e para locais envolvidos por habitacões e vegetação utilizam-se

C=0,6. A utilização de coeficientes de escoamentos diferentes é feita devido às diferenças de escoamento para as diversas zonas. Numa zona de vegetação existe a infiltração da água no solo, o que diminui a água da chuva escoada e que chega ao pavimento. O mesmo já não acontece em locais urbanizados, onde a água das chuvas nas habitações é escoada para o pavimento rodoviário.

Quanto aos coeficientes de Manning-Strickler, como se trata de tubagens de betão assume o valor de $K_s=60$, por ser um valor usualmente utilizado neste tipo de tubagens.

A seguinte tabela apresenta o resultado final, após os respetivos cálculos com a secção das passagens hidráulicas.

Tabela 62 – Cálculo das Secções das Passagens Hidráulicas

Bacia	J (m)	tc			I (mm/h)	Q		R (m)	Diâmetro	
		Horas	Minutos	tc adotar		m ³ /s	l/s		Teórico (m)	mm
B1	0,059	0,323	19,36	19,36	64,52	1,61	1605,9	0,384	0,768	800
B2	0,080	0,498	29,91	29,91	51,06	5,40	5401,4	0,6	1,200	1200
B3	0,108	0,250	14,98	14,98	74,06	1,63	1629,4	0,386	0,772	800
B4	0,091	0,156	9,35	10,00	92,06	0,33	327,3	0,213	0,426	600
B5	0,128	0,166	9,98	10,00	92,06	0,71	705,8	0,282	0,564	600
B6	0,220	0,113	6,76	10,00	92,06	0,35	347,8	0,217	0,434	600
B7	0,340	0,074	4,42	10,00	92,06	0,17	173,9	0,167	0,334	600
B8	0,158	0,159	9,54	10,00	92,06	0,50	501,2	0,248	0,496	600
B9	0,085	0,177	10,64	10,64	89,02	0,44	435,2	0,236	0,472	600
B10	0,072	0,108	6,46	10,00	92,06	0,10	102,3	0,137	0,274	600
B11	0,072	0,813	48,79	48,79	39,24	9,99	9993,5	2,200	1,467	2200x1500
B12	0,070	0,537	32,19	32,19	49,08	3,12	3119,4	0,493	0,986	1000
B13	0,035	0,520	31,17	31,17	49,94	1,69	1692,3	0,392	0,784	800

Para o cálculo do J subtraiu-se a cota mais alta pela cota da rasante, dividindo-se pela extensão da linha de água.

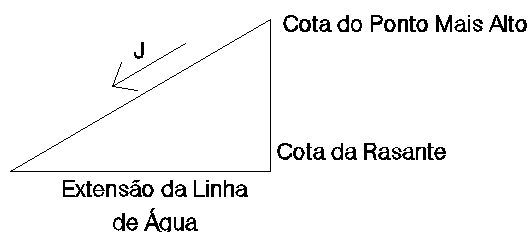


Figura 211 – Inclinação Média da Linha de Água

Como já foi referido antes, o cálculo da secção da passagem hidráulica é feito igualando os caudais, $Q = Qa$.

$$\frac{C \times I \times A}{360} = K_s \times R_H^{\frac{2}{3}} \times J^{\frac{1}{2}} \times S$$

Para secções circulares:

$$\frac{C \times I \times A}{360} = K_s \times \left(\frac{r}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \times J^{\frac{1}{2}} \times \pi \times r^2 \rightarrow r$$

Para retangulares:

$$\frac{C \times I \times A}{360} = K_s \times \left(\frac{a \times \frac{2}{3} \times a}{2 \times a + 2 \times \left(\frac{2}{3} \times a\right)}\right)^{\frac{2}{3}} \times J^{\frac{1}{2}} \times a \times \frac{2}{3} \times a \rightarrow a$$

Os valores obtidos para o raio das tubagens são arredondados para o raio comercial, assim como acontece como as secções retangulares.

As passagens hidráulicas existentes no local não foram possíveis de visualizar na sua totalidade, estando grande parte delas cobertas por vegetação densa, que impedem a acessibilidade e análise. Contudo, foi possível aceder a algumas delas, retirando as suas dimensões. A tabela 63 mostra as secções das PH's encontradas com a comparação entre as secções calculadas e as secções existentes. Na coluna de verificação é comparado o valor da secção calculada com a secção existente no local e no caso de a secção existente ser superior ou igual à secção calculada, esta está verificada. Mas no caso de ser inferior, provavelmente a secção existente não satisfaz as atuais exigências do caudal das passagens hidráulicas.

Tabela 63 – Comparação das Passagens Hidráulicas Existentes com as Calculadas

Passagens Hidráulicas	Secções Calculadas		Secções Existentes		Verificação
	Secção (m)	Área (m ²)	Secção (m)	Área (m ²)	
PH1	0,8	0,50	-		*
PH2	1,2	1,13	1,1x0,9	0,99	Não
PH3	0,8	0,50	0,3x0,6	0,18	Não
PH4	0,6	0,28	0,6	0,28	Sim
PH5	0,6	0,28	-		*
PH6	0,6	0,28	-		*
PH7	0,6	0,28	0,6	0,28	Sim
PH8	0,6	0,28	0,6	0,28	Sim
PH9	0,6	0,28	-		*
PH10	0,6	0,28	-		*
PH11	1,6x1,1	1,76	-		*
PH12	1	0,79	-		*
PH13	0,8	0,50	-		*

* - Não foi possível identificar no local.

7.3. Drenagem Longitudinal

Uma das principais preocupações nos pavimentos rodoviários são as águas existentes na sua superfície. Estas águas são provenientes quase na sua totalidade da chuva, que caindo diretamente no pavimento ou provenientes dos taludes, causam perigos não só para os condutores, risco de derrapagens, mas também na degradação do pavimento, incluindo os riscos acrescidos de infiltrações. O principal objetivo da drenagem longitudinal é assegurar o rápido escoamento superficial das águas pluviais, impedindo tanto os riscos de circulação a curto e a longo prazo anteriormente referidos, como a possibilidade de eventuais subidas dos níveis freáticos para níveis próximos da plataforma, ou seja, com consequências para a base dos pavimentos.

Os principais tipos de dispositivos na drenagem longitudinal são valetas, drenos e sargetas.

Um pavimento bem constituído apresenta uma inclinação transversal do eixo para os bordos de 2,5%, para escoar as águas superficiais para os bordos, onde normalmente se encontram dispositivos de drenagem longitudinal (sargetas, valetas), e uma inclinação longitudinal variável, entre os 0,5% e os 10%.

O troço crítico e alvo de dimensionamento de órgãos de drenagem longitudinal apresenta taludes de escavação de um lado da via e taludes em aterro do outro. O local mais adequado para as valetas é junto ao talude em escavação, para que estas possam recolher as águas pluviais vindas do talude para o pavimento. No talude em aterro, o escoamento será recolhido por sargetas, facilitando a construção de um passeio junto à berma.

Na seguinte figura pode ver-se o esquema de uma via com sargetas e valetas.

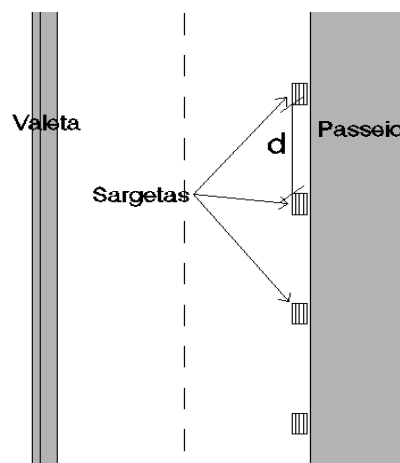


Figura 212 – Esquema das Sargetas e das Valetas de uma Via

Como as valetas são contínuas, tornam-se mais adequadas para receber as águas dos taludes em escavação, que se forem bem dimensionadas, impedem na sua totalidade que as águas pluviais dos taludes atinjam o pavimento.

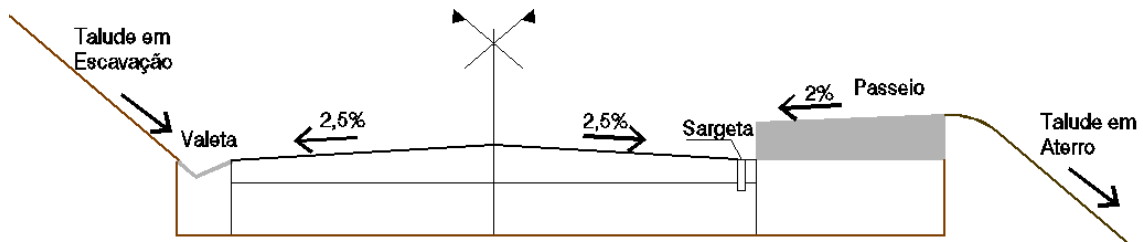


Figura 213 – Esquema da Drenagem Transversal para os Órgãos de Drenagem Longitudinal

7.3.1. Valetas

As valetas são geralmente usadas em locais fora das habitações, em zonas sem passeio e do lado dos taludes em escavação. A solução para as valetas será a remoção total das já existentes, que estão degradadas e são insuficientes para escoar o caudal atual e colocação de novas valetas, apenas do lado dos taludes em escavação. As valetas serão colocadas entre o quilómetro 1+625 até 3+425 como mostra a seguinte figura assinalado a cor vermelha.



Figura 214 – Colocação das Valetas

Dimensionamento:

O dimensionamento das valetas é feito para o caso mais gravoso, ou seja, no troço sujeito à maior quantidade de águas vinda dos taludes em escavação. Isso é visto pela maior distância entre passagens hidráulicas que se encontrem na zona a dimensionar. O caso mais

gravoso corresponde à distância entre a PH6 e a PH7, com um total de 310,2 metros. Em termos de dimensionamento, optou-se por majorar essa distância assumindo 500 metros.

A largura de cada via é de 3,5 metros assumindo que cada uma drena a água para a sua valeta. No entanto será considerado um coeficiente de majoração devido às sobrelarguras e sobrelevações, que em certos troços da estrada aumentam a largura da faixa de rodagem, assumindo 1,3, correspondendo a 30%. Assim, a largura total passa a ser, $L = 1,3 \times 3,5 = 4,55 \text{ m}$.

A valeta apresenta a seguinte configuração:

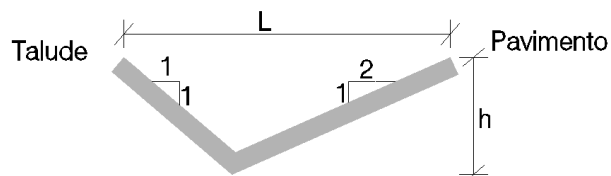


Figura 215 – Valeta Tipo Considerada

Em relação ao talude que contribui para a valeta, definiu-se 6 metros para o talude mais 15 metros de terreno natural, o que dá um total de 21 metros.

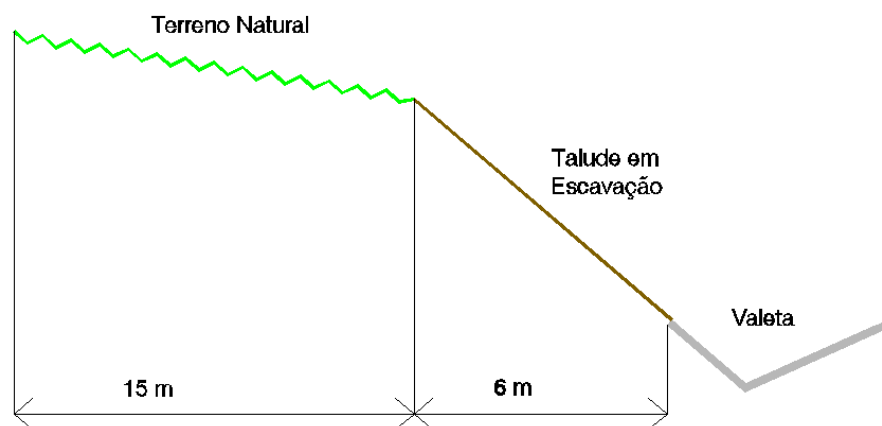


Figura 216 – Largura de Influência para a Valeta Considerada

O cálculo do caudal afluyente, ou seja, o caudal que a valeta estará sujeita e que terá de conseguir drenar é calculado pela expressão:

$$Qa = \frac{CIA}{360}$$

A intensidade de precipitação (I) será calculado para um período de retorno, T= 10 anos. Neste caso usou-se um período de retorno mais pequeno. O tempo de concentração considerado será de 10 minutos, visto ser o mínimo regulamentar.

$$I = 290,68 \times 10^{-0,549} = 82,11 \text{ mm/h}$$

A seguinte tabela apresenta os coeficientes de escoamento considerados, bem como as áreas afetadas à valeta. As áreas são calculadas multiplicando a largura pela distância entre as PH's mais gravosas, neste caso 500 metros.

Tabela 64 – Características dos Constituintes para a Drenagem Longitudinal

	Largura	Área (m ²)	Área (ha)	C	CxA
Talude	21	10500	1,05	0,4	0,420
Valeta	0,9	450	0,045	0,9	0,041
Faixa de Rodagem	4,55	2275	0,2275	0,85	0,193
				Total	0,654

$$Qa = \frac{0,654 \times 82,11}{360} = 0,149 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 149 \text{ l/s}$$

Inicialmente admite-se uma largura para a valeta de 0,9 metros. Existem algumas incógnitas que são necessárias determinar para o dimensionamento, estando representadas na seguinte figura. É possível determinar estas incógnitas fazendo 5 equações com 5 incógnitas:

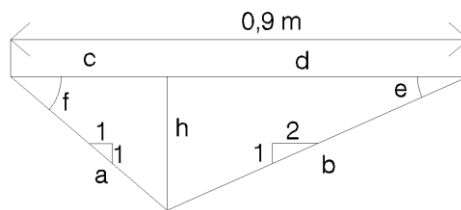


Figura 217 – Esquema de uma Valeta com 0,9 m de Largura

$$e = \arctan\left(\frac{1}{2}\right) = 26,6^\circ$$

$$f = \arctan\left(\frac{1}{1}\right) = 45^\circ$$

$$\begin{cases} \tan(e) = \frac{h}{d} = \frac{1}{2} \\ \tan(f) = \frac{h}{c} = \frac{1}{1} \\ d + c = 0,9 \\ a = \sqrt{h^2 + c^2} \\ b = \sqrt{h^2 + d^2} \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} a=0,424 \text{ m} \\ b=0,671 \text{ m} \\ c=0,3 \text{ m} \\ d=0,6 \text{ m} \\ h=0,3 \text{ m} \end{array} \right.$$

O cálculo do caudal da valeta, que a secção da valeta consegue drenar é calculado pela expressão de Manning-Strckler:

$$Qv = Ks \times Rh^{2/3} \times i^{1/2} \times S$$

Área da secção molhada, considerando secção cheia (Sm): $Sm = \frac{L \times h}{2} = \frac{0,9 \times 0,3}{2} = 0,135 \text{ m}^2$

Perímetro molhado (Pm): $Pm = a + b = 0,424 + 0,671 = 1,095 \text{ m}$

Raio Hidráulico (Rh): $Rh = \frac{Sm}{Pm} = \frac{0,135}{1,095} = 0,12 \text{ m}$

Área da secção (S): $S = \frac{L \times h}{2} = \frac{0,9 \times 0,3}{2} = 0,135 \text{ m}^2$

Será calculado para as inclinações de 1%, 2%, 4%, 6% e 8%, que são as inclinações possíveis do pavimento longo do seu percurso. O coeficiente de Manning-Strickler para uma valeta de betão é de $75 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$.

Tabela 65 – Caudais de Vazão para a Valeta 0,9 m

	Inclinação (%)	m ³ /s	l/s
Qv1	1	0,251	250,81
Qv2	2	0,355	354,70
Qv3	4	0,502	501,62
Qv4	6	0,614	614,35
Qv5	8	0,709	709,39

Verificação:

$$250 \text{ l/s} > 149 \text{ l/s, verifica}$$

Verifica com uma folga de cerca de 40%.

Com intuito de reduzir os custos, vai-se analisar com valetas mais pequenas, assim experimentou-se com 0,6 metros de largura e retificou-se os cálculos.

$$Qa = \frac{0,644 \times 82,11}{360} = 0,146 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 146 \text{ l/s}$$

Tabela 66 – Características da Valeta 0,6 m

L	0,6 m	Sm	0,060 m ²
a	0,283 m	Pm	0,730 m
b	0,447 m	Rh	0,082 m
c	0,2 m	S	0,060 m ²
d	0,4 m	Ks	75
h	0,2 m		

Tabela 67 – Caudais da Valeta 0,6 m

	Inclinação (%)	m ³ /s	l/s
Qv1	1	0,085	85,07
Qv2	2	0,120	120,30
Qv3	4	0,170	170,12
Qv4	6	0,208	208,37
Qv5	8	0,241	240,61

Verificação:

$$85 \text{ l/s} < 146 \text{ l/s, não verifica}$$

Experimental para 0,75 metros.

$$Qa = \frac{0,647 \times 82,11}{360} = 0,148 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 148 \text{ l/s}$$

Tabela 68 – Características da Valeta 0,75 m

L	0,75 m	Sm	0,094m ²
a	0,35 m	Pm	0,912 m
b	0,56 m	Rh	0,103 m
c	0,25 m	S	0,094 m ²
d	0,50 m	Ks	75
h	0,25 m		

Tabela 69 – Caudais da Valeta 0,75 m

	Inclinação (%)	m ³ /s	l/s
Qv1	1	0,154	154,29
Qv2	2	0,218	218,21
Qv3	4	0,309	308,59
Qv4	6	0,378	377,94
Qv5	8	0,436	436,41

Verificação:

$$154 \text{ l/s} > 148 \text{ l/s, verifica}$$

A verificação é feita para a valeta de 75 cm, mas por uma diferença mínima, com uma folga de 4%. Esta folga é insuficiente, não devendo esta valeta ser utilizada. Assim, a largura da valeta ideal é de 0,9 metros, com uma profundidade de 0,3 metros. Comparando com as valetas existentes, estas apresentam dimensões muito inferiores, com uma largura de 45 cm e profundidade de 15 cm. Estas dimensões são muito reduzidas, sendo metade da seção dimensionada, não satisfazendo as atuais exigência de drenagem longitudinal, pelo devem ser inteiramente substituídas pelas novas valetas dimensionadas.

7.3.2. Sargetas

As sargetas são usadas junto aos passeios, recebendo a drenagem que vem da faixa de rodagem e dos passeios, sendo colocadas de 30 em 30 metros. Os troços serão dimensionados para resistir ao caudal afluyente. Quando a secção for incapaz de satisfazer as necessidades, aumenta-se o diâmetro da secção ou efetua-se a descarga para a ribeira mais próxima.

Dimensionamento:

A largura de influência da faixa de rodagem é a mesma que nas valetas, 4,55 metros e com 2,5 metros de largura dos passeios, valor regulamentar.

$$A = (2,5 + 4,55) \times 30 = 211,5 \text{ m}^2 \rightarrow 0,021 \text{ ha}$$

Para a intensidade de precipitação, o período de retorno é de 10 anos, tal como nas valetas, mas para o tempo de concentração vai-se considerar 5 minutos, apesar de o regulamento dizer que o mínimo é de 10 minutos, este também faz referência que em algumas exceções pode considerar-se um tempo de concentração inferior a 10 minutos. Este é um caso de exceção, pois este pavimento apresenta zonas de inclinações muito reduzidas, originando velocidades de escoamento muito reduzidas e grande acumulação de lixos, que dificultam o escoamento das sargetas. O coeficiente de escoamento, por ser em betonilha nos passeios e betão betuminoso no pavimento é considerado de 0,9.

$$I = 290,68 \times 5^{-0,549} = 120,14 \text{ mm/h}$$

$$Qa = \frac{0,9 \times 120,14 \times 0,021}{360} = 0,0064 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 6,4 \text{ l/s}$$

Os diâmetros a utilizar serão de $\Phi 150$ e $\Phi 200$, sendo $\Phi 150$ o mínimo e para diâmetros maiores que $\Phi 200$ haveria a dificuldade de colocação das tubagens nas sargetas. O material é PVC, com um coeficiente de Manning-Strickler de 110. O dimensionamento será feito para as mesmas 5 inclinações referidas nas valetas.

Para $\Phi 200$:

Tabela 70 – Características da Sargeta $\Phi 200$

Diâmetro	0,20 m
Rh	0,05 m
S	0,03 m ²
Ks	110

Tabela 71 – Caudais da Sargeta $\Phi 200$

	Inclinação (%)	m ³ /s	l/s
Qv1	1	0,047	46,90
Qv2	2	0,066	66,33
Qv3	4	0,094	93,80
Qv4	6	0,115	114,89
Qv5	8	0,133	132,66

Verificação:

$$46,9 \text{ l/s} > 6,4 \text{ l/s, verifica}$$

Para $\Phi 150$:

Tabela 72 - Características da Sargeta $\Phi 150$

Diâmetro	0,150 m
Rh	0,038 m
S	0,018 m ²
Ks	110

Tabela 73 - Caudas da Sargeta $\Phi 150$

	Inclinação (%)	m ³ /s	l/s
Qv1	1	0,022	21,78
Qv2	2	0,031	30,80
Qv3	4	0,044	43,56
Qv4	6	0,053	53,35
Qv5	8	0,062	61,60

Verificação:

$$21,8 \text{ l/s} > 6,4 \text{ l/s, verifica}$$

Na primeira sargeta a tubagem utilizada é um $\Phi 150$. O caudal que a tubagem recebe da sargeta será de 6,4 l/s, à medida que mais sargetas vão depositando a água escoada na tubagem, o caudal vai acumular tal, como mostra a seguinte figura.

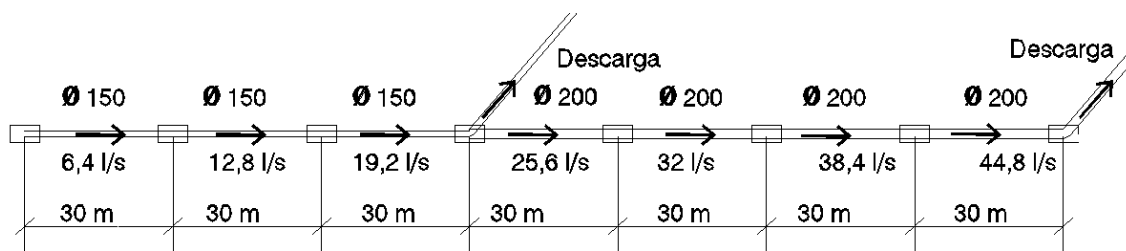


Figura 218 – Esquema da Drenagem nas Sargetas

Ao fim de três sargetas, o caudal acumulado é de 19,2 l/s, sendo ainda suportado pela tubagem que aguenta até no máximo 21,8 l/s. Na passagem para a quarta sargeta, o caudal acumulado passa a ser 25,6 l/s, sendo a tubagem de $\Phi 150$ insuficiente. Aqui existem duas soluções possíveis, caso seja viável faz-se a descarga para a ribeira mais próxima, caso não seja possível aumenta-se a tubagem para $\Phi 200$. O máximo possível sem haver a descarga são sete troços de 30 metros, ai terá de haver uma descarga obrigatoriamente, pois a tubagem já não tem condições para suportar o caudal acumulado da oitava sargeta, de 51,2 l/s.

7.4. Conclusões da drenagem

O dimensionamento da drenagem transversal, diz respeito às passagens hidráulicas que são dimensionadas para o caudal escoado das linhas de água a montante do talude, que por

sua vez são alimentadas pelas bacias hidrográficas. No total são 13 linhas de água, cada uma correspondente a uma passagem hidráulica, com diâmetros entre os 600 mm e os 1200 mm em PVC, com exceção da tubagem em betão com 2,2x1,5 m. As tubagens existentes no pavimento não correspondem na sua totalidade às tubagens dimensionadas, o que leva a que estas têm sido insuficientes para o escoamento transversal atual.

Relativamente à drenagem longitudinal, existe uma alteração ao atual modelo de drenagem. As valetas apenas passarão a existir do lado do talude em escavação, sendo alteradas para valetas de maiores dimensões, largura de 0,9 metros e profundidade de 0,3 metros, visto que as atuais são demasiado pequenas e em alguns casos inoperacionais para as exigências deste pavimento. A alteração acontece do lado do talude em aterro, onde as valetas vão dar lugar às sargetas, com dimensões de $\Phi 150$ e $\Phi 200$, devido a construção de um passeio.

Nota-se, com o dimensionamento dos órgãos de drenagens concluída, que a drenagem do pavimento está longe do necessitado, condicionando o pavimento. Tem sido referido ao longo deste trabalho, que este pavimento tem sofrido um elevado desgaste devido à água superficial, que originou diversas patologias, com parte das responsabilidades para um possível mau desempenho do sistema de drenagem.

8. Mapa de Quantidades e Estimativa Orçamental

8.1. Breve Nota

O Mapa de Quantidades e Estimativa Orçamental apresenta todos os materiais necessários para a realização do projeto, assim como as suas quantidades. Apresenta também o preço unitário e os custos totais por material e os valores globais da execução da obra. Sendo a Câmara Municipal de Valongo uma entidade pública por lei, a execução deste projeto passa por lançar um concurso, onde as empresas de construção civil interessadas na execução da empreitada, elaboram os seus orçamentos de concurso. Assim sendo, os preços indicados são meramente indicativos, baseados numa estimativa média dos preços de mercado. É apresentado uma estimativa orçamental para as quatro soluções.

8.2. Solução de Longo Prazo com MBAM

Tabela 74 – Mapa de Trabalhos com Estimativa Orçamental da Solução de Longo Prazo em MBAM

<i>Empreitada: "Reabilitação da Estrada EM 607 no Concelho de Valongo"</i>					
Estimativa Orçamental	Solução de Longo Prazo com MBAM na Base				
Código	Designação dos Trabalhos	Unid.	Quant.	Preços unit.	Totais
03	PAVIMENTAÇÃO				
	<i>Trabalhos a realizar de acordo com o projeto, nomeadamente os perfis transversais tipo, satisfazendo o especificado no C.E.T.O. Da E.P., considerando as espessuras das camadas após compactação, e incluindo o fornecimento e aplicação.</i>				
03.01	- Camadas granulares:				
<i>03.01.01</i>	- <i>Camada de sub-base:</i>				
<i>03.01.01.01</i>	- <i>Agregado britado de granulometria extensa:</i>				
03.01.01.01.01	- Com 0,20 m de espessura.	m ²	33.199	5,00 €	165.994,50 €
03.02	- Camadas de misturas betuminosas a quente:				
<i>03.02.01</i>	- <i>Camada de base:</i>				
<i>03.02.01.01</i>	- <i>AC20 base ligante (MBAM):</i>				
03.02.01.01.01	- Com 0,08 m de espessura	m ²	33.199	11,00 €	65.187,90 €
<i>03.02.02</i>	- <i>Camada de regularização:</i>				
03.02.02.01	- AC14 reg ligante(BB)	ton			

Projeto de Reabilitação da EM 607 no Concelho de Valongo

03.02.02.01.01	- Com 0,06 m de espessura	m ²	33.199	7,00 €	232.392,30 €
03.02.03	- Camada de desgaste:				
03.02.03.01	- AC14 surf ligante (BB):				
03.02.03.01.01	- Com 0,04 m de espessura.	m ²	33.199	5,00 €	165.994,50 €
03.03	- Regas betuminosas de impregnação e colagem:				
03.03.01	- Rega de impregnação betuminosa:				
03.03.01.01	- Com emulsão betuminosa (1,2 Kg/m ²)	m ²	66.398	0,79 €	52.454,26 €
03.03.02	- Rega de colagem:				
03.03.02.01	- Com emulsão betuminosa (0,5 Kg/m ²)	m ²	33.199	0,44 €	14.607,52 €
03.04	- Trabalhos especiais de pavimentação:				
03.04.01	- Fresagem/Remoção e recompactação de pavimentos existentes, de acordo com a espessura definida no projeto.	m ²	33.199	1,25 €	41.498,63 €
03.04.02	- Recolocação das tampas das caixas existentes dos serviços afetados	Un.	912	12,00 €	10.944,00 €
03.04.03	- Pavimentação de passeios, separadores ou ilhas direcionais, incluindo fundação:				
03.04.03.01	- Em betonilha	m ²	4.250	20,00 €	85.000,00 €
03.05	- Órgãos de drenagem Transversal e Longitudinal				
03.05.01	- Valetas em betão				
03.05.01.01	- Com área 0,9x0,3 m	m ²	1.350	15,00 €	20.250,00 €
03.05.02	- Sargetas				
03.05.02.01	- Coletor com ligação entre sargetas				
03.05.02.01.01	- Com diâmetro de 150 mm	m	875	18,00 €	15.750,00 €
03.05.02.01.02	- Com diâmetro de 200 mm	m	875	21,00 €	18.375,00 €
03.05.03	- Passagens Hidráulicas incluindo boca de entrada e saída em betão				
03.05.03.01	- Com diâmetro de 800 mm	m	14	120,00 €	1.680,00 €
03.05.03.02	- Com diâmetro de 1200 mm	m	14	120,00 €	1.680,00 €
				Total	1.198.225,27 €

8.3. Solução de Longo Prazo com ABGEC

Tabela 75 – Mapa de Quantidades com Estimativa Orçamental da Solução de Longo Prazo em ABGEC

<i>Empreitada: "Reabilitação da Estrada EM 607 no Concelho de Valongo"</i>					
Estimativa Orçamental	Solução de Longo Prazo com ABGEC na Sub-Base				
Código	Designação dos Trabalhos	Unid.	Quant.	Preços unit.	Totais
03	PAVIMENTAÇÃO				
	<i>Trabalhos a realizar de acordo com o projeto, nomeadamente os perfis transversais tipo, satisfazendo o especificado no C.E.T.O. Da E.P., considerando as espessuras das camadas após compactação, e incluindo o fornecimento e aplicação.</i>				
03.01	- Camadas de misturas betuminosas a quente:				
<i>03.01.01</i>	- <i>Camada de base:</i>				
<i>03.01.01.01</i>	- <i>AC20 base ligante (MBAM):</i>				
03.01.01.01.01	- Com 0,08 m de espessura	m ²	33.199	11,00 €	365.187,90 €
<i>03.01.02</i>	- <i>Camada de regularização:</i>				
03.01.02.01	- AC14 reg ligante (BB)	ton			
03.01.02.01	- Com 0,06 m de espessura	m ²	33.199	7,00 €	232.392,30 €
<i>03.01.03</i>	- <i>Camada de desgaste:</i>				
<i>03.01.03.01</i>	- <i>AC14 surf ligante (BB):</i>				
03.01.03.01.01	- Com 0,04 m de espessura.	m ²	33.199	5,00 €	165.994,50 €
<i>03.02</i>	- <i>Camada de Sub-base:</i>				
03.02.01	- Agregado britado de granulometria extensa, tratado com cimento:				
03.02.01.01	- Com 0,20 m de espessura (3% a 5% de cimento)	m ²	33.199	15,00 €	497.983,50 €
03.03	- Regas betuminosas de impregnação e colagem:				
<i>03.03.01</i>	- <i>Rega de impregnação betuminosa:</i>				
03.03.01.01	- Com emulsão betuminosa (1,2 Kg/m ²)	m ²	66.398	0,79 €	52.454,26 €
<i>03.03.02</i>	- <i>Rega de colagem:</i>				
03.03.02.01	- Com emulsão betuminosa (0,5 Kg/m ²)	m ²	33.199	0,44 €	14.607,52 €

Projeto de Reabilitação da EM 607 no Concelho de Valongo

03.04	- Trabalhos especiais de pavimentação:				
03.04.01	- Fresagem/Remoção e recompactação de pavimentos existentes, de acordo com a espessura definida no projeto.	m ²	33.199	1,25 €	41.498,63 €
03.04.02	- Recolocação das tampas das caixas existentes dos serviços afetados	Un.	912	12,00 €	10.944,00 €
03.04.03	- <i>Pavimentação de passeios, separadores ou ilhas direcionais, incluindo fundação:</i>				
03.04.03.01	- Em betonilha	m ²	4.250	20,00 €	85.000,00 €
03.05	- <i>Órgãos de drenagem Transversal e Longitudinal</i>				
03.05.01	- <i>Valetas em betão</i>				
03.05.01.01	- <i>Com área 0,9x0,3 m</i>	m ²	1.350	15,00 €	20.250,00 €
03.05.02	- <i>Sargetas</i>	un.	58	110,00 €	6.416,67 €
03.05.02.01	- <i>Coletor com ligação entre sargetas</i>				
03.05.02.01.01	- <i>Com diâmetro de 150 mm</i>	m	875	18,00 €	15.750,00 €
03.05.02.01.02	- <i>Com diâmetro de 200 mm</i>	m	875	21,00 €	18.375,00 €
03.05.03	- <i>Passagens Hidráulicas incluindo boca de entrada e saída em betão</i>				
03.05.03.01	- <i>Com diâmetro de 800 mm</i>	m	14	120,00 €	1.680,00 €
03.05.03.02	- <i>Com diâmetro de 1200 mm</i>	m	14	120,00 €	1.680,00 €
				Total	1.530.214,27 €

8.4. Solução de Médio Prazo

Tabela 76 – Mapa de Quantidades com Estimativa Orçamental da Solução de Médio Prazo

Empreitada: "Reabilitação da Estrada EM 607 no Concelho de Valongo"					
Estimativa Orçamental	Solução de Médio Prazo				
Código	Designação dos Trabalhos	Unid.	Quant.	Preços unit.	Totais
03	PAVIMENTAÇÃO				
	<i>Trabalhos a realizar de acordo com o projeto, nomeadamente os perfis transversais tipo, satisfazendo o especificado no C.E.T.O. Da E.P., considerando as espessuras das camadas após compactação, e incluindo o fornecimento e aplicação.</i>				
03.01	- Camadas de misturas betuminosas a quente:				
<i>03.01.01</i>	<i>- Camada de base:</i>				
<i>03.01.01.01</i>	<i>- AC20 base ligante (MBAM):</i>				
03.01.01.01.01	- Com 0,09 m de espessura	m ²	33.199	12,00 €	398.386,80 €
<i>03.01.02</i>	<i>- Camada de desgaste:</i>				
03.01.02.01	- AC14 reg ligante (BB)	ton			
03.01.02.01.01	- Com 0,05 m de espessura	m ²	33.199	6,00 €	199.193,40 €
03.02	- Regas betuminosas de impregnação e colagem:				
<i>03.02.01</i>	<i>- Rega de impregnação betuminosa:</i>				
03.03.01.01	- Com emulsão betuminosa (1,2 Kg/m2)	m ²	33.199	0,79 €	26.227,13 €
<i>03.02.02</i>	<i>- Rega de colagem:</i>				
03.02.02.01	- Com emulsão betuminosa (0,5 Kg/m2)	m ²	33.199	0,44 €	14.607,52 €
03.03	- Trabalhos especiais de pavimentação:				
03.03.01	- Fresagem/Remoção e recompactação de pavimentos existentes, de acordo com a espessura definida no projeto.	m ²	33.199	1,25 €	41.498,63 €
03.03.02	- Recolocação das tampas das caixas existentes dos serviços afetados	Un.	912	12,00 €	10.944,00 €
<i>03.03.04</i>	<i>- Pavimentação de passeios, separadores ou ilhas direcionais, incluindo fundação:</i>				
03.03.04.01	- Em betonilha	m ²	4.250	20,00 €	85.000,00 €

Projeto de Reabilitação da EM 607 no Concelho de Valongo

03.04	- Órgãos de drenagem Transversal e Longitudinal				
03.04.01	- Valetas em betão				
03.04.01.01	- Com área 0,9x0,3 m	m ²	1.350	15,00 €	20.250,00 €
03.04.02	- Sargetas	un.	58	110,00 €	6.416,67 €
03.04.02.01	- Coletor com ligação entre sargetas				
03.04.02.01.01	- Com diâmetro de 150 mm	m	875	18,00 €	15.750,00 €
03.04.02.01.02	- Com diâmetro de 200 mm	m	875	21,00 €	18.375,00 €
03.04.03	- Passagens Hidráulicas incluindo boca de entrada e saída em betão				
03.04.03.01	- Com diâmetro de 800 mm	m	14	120,00 €	1.680,00 €
03.04.03.02	- Com diâmetro de 1200 mm	m	14	120,00 €	1.680,00 €
03.05	- Outros trabalhos				
03.05.01	- Rede de reforço em Arame de 2 mm	m ²	33.199	2,00 €	66.397,80 €
				Total	906.406,94 €

8.5. Solução de Curto Prazo

Tabela 77 – Mapa de Quantidades com Estimativa Orçamental da Solução de Curto Prazo

Empreitada: "Reabilitação da Estrada EM 607 no Concelho de Valongo"					
Estimativa Orçamental	Solução de Curto Prazo				
Código	Designação dos Trabalhos	Unid.	Quant.	Preços unit.	Totais
03	PAVIMENTAÇÃO				
	<i>Trabalhos a realizar de acordo com o projeto, nomeadamente os perfis transversais tipo, satisfazendo o especificado no C.E.T.O. Da E.P., considerando as espessuras das camadas após compactação, e incluindo o fornecimento e aplicação.</i>				
03.01	- Camadas de misturas betuminosas a quente:				
<i>03.01.01</i>	<i>- Camada de base:</i>				
<i>03.01.01.01</i>	<i>- AC20 base ligante (MBAM):</i>				
03.01.01.01.01	- Com 0,09 m de espessura	m ²	18.971	12,00 €	227.649,60 €
<i>03.01.02</i>	<i>- Camada de desgaste:</i>				
03.01.02.01	- AC14 reg ligante (BB)	ton			
03.01.02.01.01	- Com 0,05 m de espessura	m ²	18.971	6,00 €	113.824,80 €
03.02	- Regas betuminosas de impregnação e colagem:				
<i>03.02.01</i>	<i>- Rega de impregnação betuminosa:</i>				
03.02.01.01	- Com emulsão betuminosa (1,2 Kg/m2)	m ²	18.971	0,79 €	14.986,93 €
<i>03.02.02</i>	<i>- Rega de colagem:</i>				
03.02.02.01	- Com emulsão betuminosa (0,5 Kg/m2)	m ²	18.971	0,44 €	8.347,15 €
03.03	- Trabalhos especiais de pavimentação:				
03.03.01	- Fresagem/Remoção e recompactação de pavimentos existentes, de acordo com a espessura definida no projeto.	m ²	18.971	1,25 €	23.713,50 €
03.03.02	- Recolocação das tampas das caixas existentes dos serviços afetados	Un.	912	12,00 €	10.944,00 €
<i>03.03.04</i>	<i>- Pavimentação de passeios, separadores ou ilhas direcionais, incluindo fundação:</i>				
03.03.04.01	- Em betonilha	m ²	4.250	20,00 €	85.000,00 €

Projeto de Reabilitação da EM 607 no Concelho de Valongo

03.04	- Órgãos de drenagem Transversal e Longitudinal				
03.04.01	- Valetas em betão				
03.04.01.01	- Com área 0,9x0,3 m	m ²	1.350	15,00 €	20.250,00 €
03.04.02	- Sargetas	un.	58	110,00 €	6.416,67 €
03.04.02.01	- Coletor com ligação entre sargetas				
03.04.02.01.01	- Com diâmetro de 150 mm	m	875	18,00 €	15.750,00 €
03.04.02.01.02	- Com diâmetro de 200 mm	m	875	21,00 €	18.375,00 €
03.04.03	- Passagens Hidráulicas incluindo boca de entrada e saída em betão				
03.04.03.01	- Com diâmetro de 800 mm	m	14	120,00 €	1.680,00 €
03.04.03.02	- Com diâmetro de 1200 mm	m	14	120,00 €	1.680,00 €
03.05	- Outros trabalhos				
03.05.01	- Rede de reforço em Arame de 2 mm	m ²	18.971	2,00 €	37.941,60 €
03.05.01	- Micro betão betuminoso com espessura média de 2 cm	m ²	33.199	4,00 €	132.795,60 €
				<i>Total</i>	<i>719.354,85 €</i>

8.6. Conclusão das estimativas orçamentais

Apesar dos valores apresentados serem apenas indicativos, é possível ter uma noção do valor global da execução da obra para as soluções de reabilitação propostas. A escolha da solução de longo prazo fica condicionada pela opção de MBAM ou de ABGEC, sendo que MBAM é relativamente mais económico que ABGEC. A solução mais económica é a solução de curto prazo, tal como se esperava, com uma diferença bastante considerada para as restantes soluções, sendo a mais recomendada quando olhando apenas economicamente. A tabela seguinte mostra resumidamente os custos globais para cada solução e os custos por m².

Tabela 78 – Valores Globais da Execução da Obra Para Cada Solução

Solução	Custo Globais para Execução da Obra	Custo/m ²
Longo Prazo em ABGEC	1.500.000,00 €	45,18 €
Longo Prazo em MBAM	1.200.000,00 €	36,15 €
Médio Prazo	900.000,00 €	27,11 €
Curto Prazo	720.000,00 €	21,69 €

9. Conclusão

9.1. Considerações Finais

O presente projeto é o resultado de 7 meses de desenvolvimento, através de um estudo pormenorizado das características e patologias do pavimento e dimensionamento de soluções de reabilitação para a sua recuperação.

Durante esse tempo foi criada uma ligação de parceria com a Câmara Municipal de Valongo, que se identificou e colaborou com este trabalho. A da engenheira Jacinta Moreira forneceu todos os elementos que lhe foram possíveis e disponibilizou funcionários para colaborar com o trabalho de campo. Foi realizado um estudo ao pavimento atual, sendo criado um inventário dos serviços afetados, analisadas as patologias existentes e o comportamento da drenagem em dias chuva, sendo ainda retidas carotes para analisar as camadas betuminosas e medidas as rodeiras. Dimensionou-se o pavimento com base numa estimativa do tráfego médio anual de pesados para três soluções possíveis, com períodos de vida úteis e orçamentos diferentes. Por último, dimensionou-se os órgãos de drenagem longitudinal e transversal.

O estudo feito ao pavimento demonstra o nível de degradação em que este se encontra, tendo sido identificados inúmeros tipos de patologias de grandes dimensões ao longo da sua extensão. O pavimento apresenta zonas em muito mau estado de conservação, que condicionam a condução, ficando ainda mais limitada em dias de chuva. A superfície do pavimento está em muito mau estado, apresentando patologias que revelam graves problemas nas camadas estruturais e, por ventura, no solo de fundação. A drenagem é muito deficiente, havendo locais de grande acumulação de águas superficiais. A drenagem superficial é dificultada pelas patologias superficiais que, por um lado dificultam a drenagem e, por outro, em casos mais graves, originaram uma deficiente inclinação transversal do pavimento. A drenagem longitudinal está condicionada pelas reduzidas dimensões das valetas que, em alguns casos, estão danificadas e obstruídas com lixo e terra. Através das carotes foi possível ver algumas limitações em termos de espessura das camadas betuminosas, sendo reduzidas para o tráfego atual, apresentando uma ou duas camadas com valores médios globais que rondam os 10 cm. Atualmente, os pavimentos rodoviários são constituídos geralmente por três camadas com uma espessura total superior a 10 cm. São ainda de realçar alguns troços do pavimento com inclinações longitudinais reduzidas, sendo mais uma componente que dificulta a drenagem superficial. Por último, relativamente às conclusões do estudo desenvolvido sobre o pavimento, uma breve referência à medição das rodeiras que, mesmo sem apresentarem valores elevados, os seus raios são consideráveis, tendo um máximo de 6 centímetros.

Em termos de dimensionamento foram admitidas três soluções classificadas principalmente pelo período de vida útil e pelo orçamento de execução. A solução de longo

prazo apresenta uma estrutura dimensionada para o tráfego atual e utilizando os correntes métodos de dimensionamento, contendo três camadas betuminosas, camada de desgaste em AC14 surf (BB), camada de regularização em AC 14 reg (BB) e camada de base em AC20 bin com mistura betuminosa de alto módulo. Contudo, para esta solução considerou-se uma solução alternativa, sendo a terceira camada ser em AC32 (MB) e com uma sub-base em agregado britado de granulometria extensa tratada com cimento. Esta solução exige a fresagem da totalidade do pavimento para colocação da nova estrutura, o que encarece muito esta solução. Por essa mesma razão tentou-se proporcionar outras soluções que fossem ao encontro das capacidades financeiras da Câmara Municipal de Valongo e proporcionou-se outras duas soluções. A solução de médio prazo, pensada para um período de vida útil mínimo de 8 anos, contendo duas camadas de betuminoso, a primeira em AC14 surf (BB) e a segunda em AC 20 bin (MBAM) com uma rede de arame que faz a ligação entre as camadas betuminosas e a camada granular. Esta solução, apesar de ser mais económica, exige a remoção por completo das camadas betuminosas existentes. Criou-se, então, uma solução que aproveitasse ao máximo o pavimento existente, onde apenas serão removidas as camadas betuminosas da zona dos rodados, mantendo o restante pavimento. Esta solução de curto prazo é a mais económica, mas a menos resistente.

Das três soluções apresentadas, a mais aconselhada é, sem dúvida a primeira, porque o pavimento apresenta graves patologias superficiais e estruturais, sendo irrecuperável e a solução de longo prazo propões uma estrutura completamente nova e é mais credível a longo prazo. Contudo, são disponibilizadas duas soluções de reabilitação também credíveis, que prolongam o período de vida útil do pavimento por mais alguns anos e com menos recursos financeiros. Quanto aos custos de execução, a realização de obras em vias rodoviárias exige custos bastante elevados e os preços reais de empreitada dependerá dos valores orçamentados pelos empreiteiros que, por sua vez, estarão igualmente dependentes das celebrações de contratos com os subempreiteiros. Os valores apresentados nas estimativas orçamentais servem para comprovar a diferença de custos entre as várias soluções e estabelecer um valor lógico que reflita aproximadamente o valor da execução de obra.

Existe a importância da drenagem que terá obrigatoriamente de ser resolvido mesmo antes dos trabalhos de pavimentação. Este é o principal problema relativamente à degradação dos pavimentos e terão de ser asseguradas boas condições para a execução dos seus trabalhos, bem como garantir que todas as medidas estabelecidas em fase de projeto sejam executadas.

Por último, a situação de degradação do pavimento em estudo é um dos muitos pavimentos rodoviários que se encontram com um nível de degradação muito elevado, o que obriga a uma reflexão por parte dos seus responsáveis. As vias rodoviárias são uma das infraestruturas mais importantes a todos os níveis em Portugal, pelo que merecem especial destaque naquelas que são as prioridades nos investimentos das obras pública

9.2. *Desenvolvimentos Futuros*

O desenvolvimento deste projeto não se dá por concluído, deixando alguns pontos por retratar, que poderão ser desenvolvidos futuramente.

Desde longo um Plano de Manutenção/Conservação, para que sejam realizados periodicamente trabalhos de conservação com intuito de prolongar o período de vida útil do pavimento.

Outro aspeto é a sinalização, que não sendo abordada neste trabalho, relativamente à qual deverá ser desenvolvido um estudo das suas características.

Por último, deverá ser realizado um plano de auscultação periódica para que haja regularmente inspeções ao pavimento rodoviário, onde sejam identificadas patologias ou possíveis desenvolvimentos de patologias, tratando-as desde logo e impossibilitando que estas se agravem.

10. Bibliografia

- [1] Branco, Paulo; Pereira, Paulo e Picado Santos, Luís (2006). Pavimentos Rodoviário. Coimbra: Almedina.
- [2] CEPISA Betumes (2007), Manual de Pavimentação.
- [3] Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias IP (2014). Diretivas para a Conceção de Pavimentos – Critérios de Dimensionamento.
- [4] Iva Maia (2012). Caracterização de Patologias em Pavimentos Rodoviário (Dissertação de Mestrado). Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [5] Jacob, Ângelo (2013). Pavimentos Rodoviários, apontamentos das aulas 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11. Porto, Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- [6] JAE (1995). Manual de Conceção de Pavimentos Rodoviários para a Rede Rodoviária
- [7] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) (2005). Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários.
- [8] Lima Maré, Florbela (2011). Historia das Infraestruturas de Transporte (Dissertação de Mestrado). Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [9] Lopes, Óscar (2009). Misturas Betuminosas – Determinação das Características para o Cálculo dos Pavimentos (Dissertação de Mestrado). Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- [10] Martins, Francisco; Pinheiro António; Carmo e José. Passagens Hidráulicas (2014), Dimensionamento Hidrológico e Hidráulico e Estimativa de Custo Assistido por Computador. Escola Superior Técnica de Viseu; Instituto Superior Técnico; Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra
- [11] Melo, Arnaldo; Miranda, Carlos e Ribeiro Jaime (1993). Conceção/Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários, Porto.
- [12] Pereira, Hélder (2012). PLANEAMENTO RODOVIÁRIO E INÉRCIA DA PROCURA DE TRANSPORTE EM PORTUGAL (Dissertação de Mestrado). Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [13] Pereira, Paulo e Freitas, Elisabete (2011). Estudo do Desempenho dos Pavimentos Rodoviários Flexíveis. Guimarães, Universidade do Minho.
- [14] Pereira, Ricardo; Ferreira, Paulo e Pinto, Marco (2014). Área de Serviço de Monte Redondo (Trabalho Académico). Porto, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

- [15] Portela (2012), Fátima. Manual de Drenagem Superficial. Porto, Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- [16] Ribeiro Silva, Filipa; Santos Mário (2002). As Estradas de Portugal; Memória e História. Braga: Centro Rodoviário Português.
- [17] Santos Francisco, Ana Paula (2012). Comportamento Estrutural de Pavimentos Rodoviários Flexíveis (Relatório de Mestrado). Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança.
- [18] Vivas, Eduardo (2013). Ambiente e Recursos Hídricos, apontamento das aulas 1,2,3,4,5,6 e 7. Porto, Instituto Superior de Engenharia do Porto
- [19] Pedal na Estrada (2006). Antigo Egipto. Disponível em www.pedalnaestrada.com.br/pages.php?recid=438. [consulta em 05-04-2014].
- [20] Trânsito Com Vida (2014). História dos Transportes Terrestres no Mundo. Disponível em www.transitocomvida.ufrj.br/HistoriaDoTransitoNoMundo.asp. [consulta em 08-07-2014].
- [21] O Fascinante universo da História (2010). Estrada Real Persa. Disponível em www.universodahistoria.blogspot.pt/2010/10/estrada-real-persa.html. [consulta em 12-05-2014].
- [22] Ribeiro, Denise (2014). Introdução à Construção de Estradas, UFBA. Disponível em www.transportes.ufba.br/Arquivos/ENG305/UFBA%20-%20%20Aula%2002%20-%20Introdu%C3%A7%C3%A3o%20-%20Hist%C3%B3rico.pdf. [consultado em 05-04-2014].
- [23] Estradas de Portugal, SA (2012). Breve Cronologia da Evolução Orgânica da Administração Rodoviária Nacional (1927-2007). Disponível em www.estradasdeportugal.pt/index.php/historia. [consultado em 08-07-2014].
- [24] Interactive, Pavement (2008). Pavement History. Disponível em www.pavementinteractive.org/article/pavement-history. [consultado em 07-04-2014].
- [25] Enginers, Synonym (2011). Residências Romanas. Disponível em www.synonymenginers.blogspot.pt/2011/03/primeiras. [consultado em 02-04-2014].
- [26] Espaço e Memória (2011). Museus e Memória – Os objetos contam a vossa história. Disponível em www.espacoememoria.blogspot.pt/2011/03/museus-e-memoria-os-objetos-contam.html. [consultado em 13-05-2014].
- [27] Na Rota da Seda (2014). A Rota da Seda. Disponível em www.narotadaseda.weebly.com/. [consultado em 02-04-2014].

[28] Ebah (2014). Terminologia de Materiais e Pavimentos. Disponível em www.ebah.com.br/content/ABAAAABAQAD/terminologia-materiais-pavimentos?part=2.

[consultado em 07-05-2014].

[29] Rodovias (2014). Evolução Histórica. Disponível em www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo4A/rodovias.htm. [consultado em 07-05-

2014]

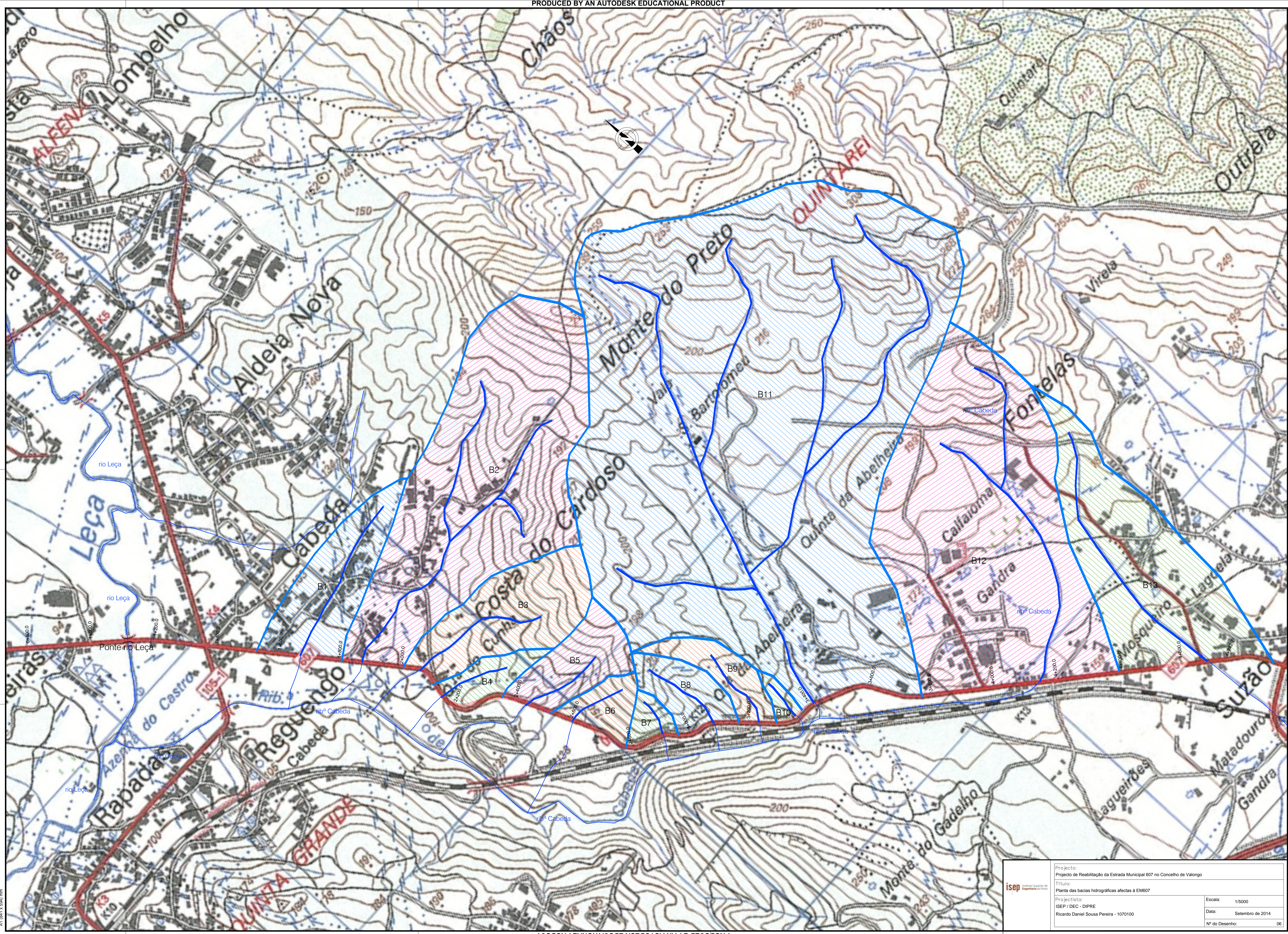
[30] Transportes Rodoviários (2011). Plano Nacional Rodoviário (PNR2000). Disponível em [www.transportes-rodoviaros-esml.blogspot.pt/2011/03/plano-nacional-rodoviario-pnr-](http://www.transportes-rodoviaros-esml.blogspot.pt/2011/03/plano-nacional-rodoviario-pnr-2000.html)


[2000.html](http://www.transportes-rodoviaros-esml.blogspot.pt/2011/03/plano-nacional-rodoviario-pnr-2000.html). [consultado em 13-05-2014]

11. Anexos

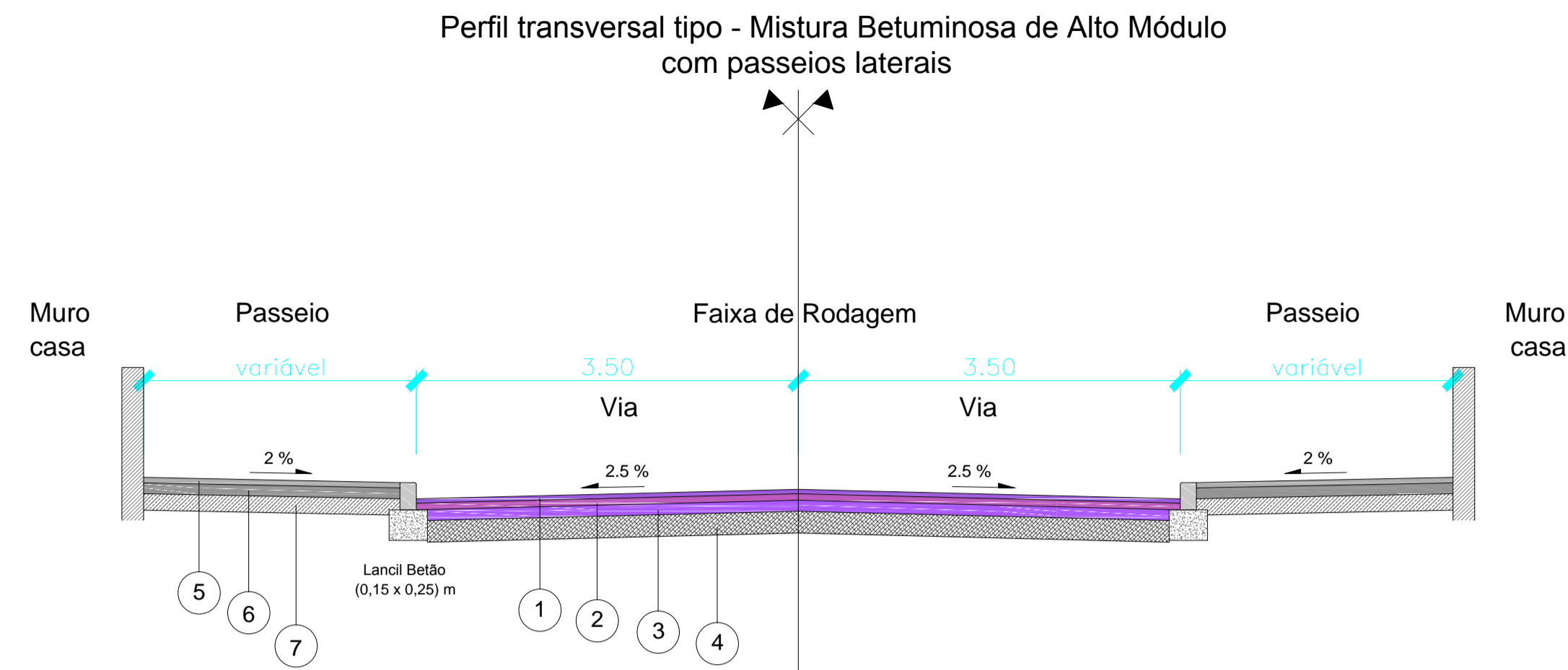
Peças Desenhadas

- Desenho 1 – “Planta e Perfil Longitudinal da EM 607 entre 0+000 e 1+200”
- Desenho 2 – “Planta e Perfil Longitudinal da EM 607 entre 1+200 e 2+400”
- Desenho 3 - “Planta e Perfil Longitudinal da EM 607 entre 2+400 e 3+600”
- Desenho 4 - “Planta e Perfil Longitudinal da EM 607 entre 3+600 e 4+738,27”
- Desenho 5 – “Planta Geral do Traçado sobre a Imagem Área”
- Desenho 6 – “Planta das Bacias Hidrográficas Afetas à EM 607”
- Desenho 7 – “Perfis Transversais Tipo das Soluções Propostas de Longo, Médio e Curto Prazo” .



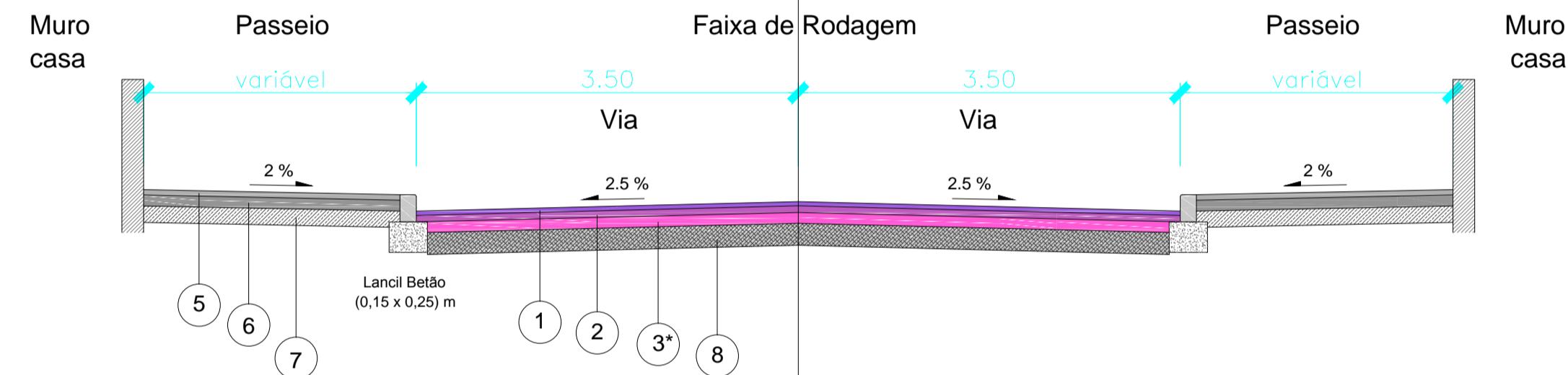
 ISEP Instituto Superior de Engenharia do Porto	Projecto:	Projecto de Reabilitação da Estrada Municipal 607 no Concelho de Valongo	Escala: 1/5000 Data: Setembro de 2014 Nº do Desenho: 06
	Título:	Planta das bacias hidrográficas afectas à EM607	
	Projectista:	ISEP / DEC - DIPRE Ricardo Daniel Sousa Pereira - 1070100	

SOLUÇÃO DE LONGO PRAZO - PAVIMENTO TODO NOVO

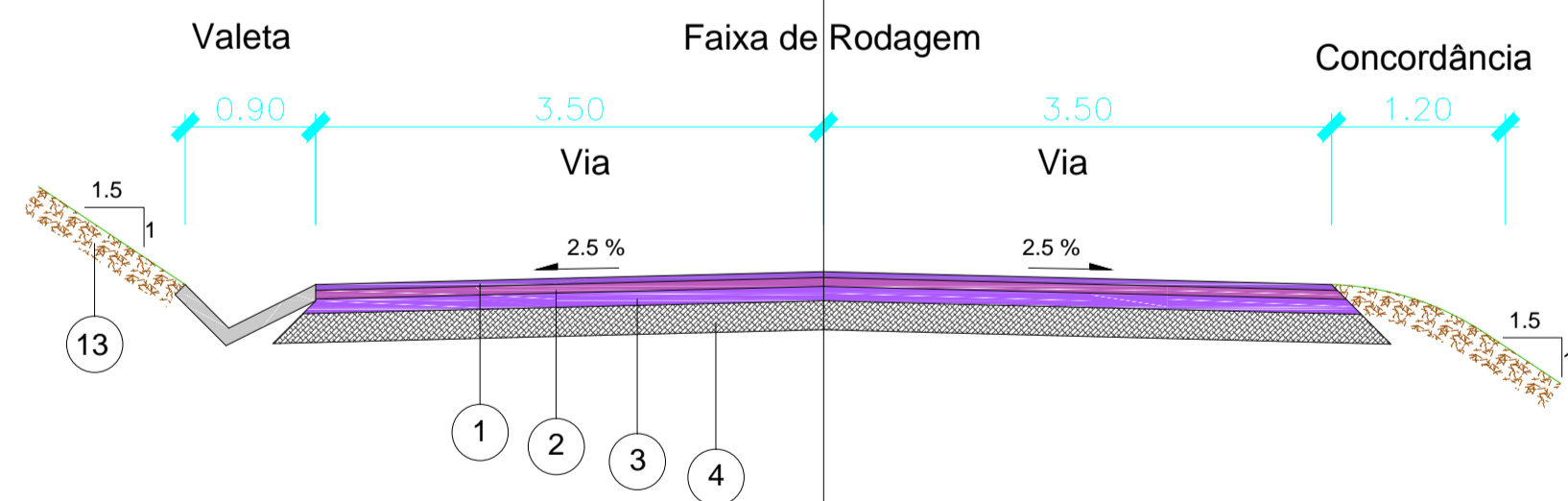


OU

Perfil transversal tipo - Subbase em ABGEC com passeios laterais

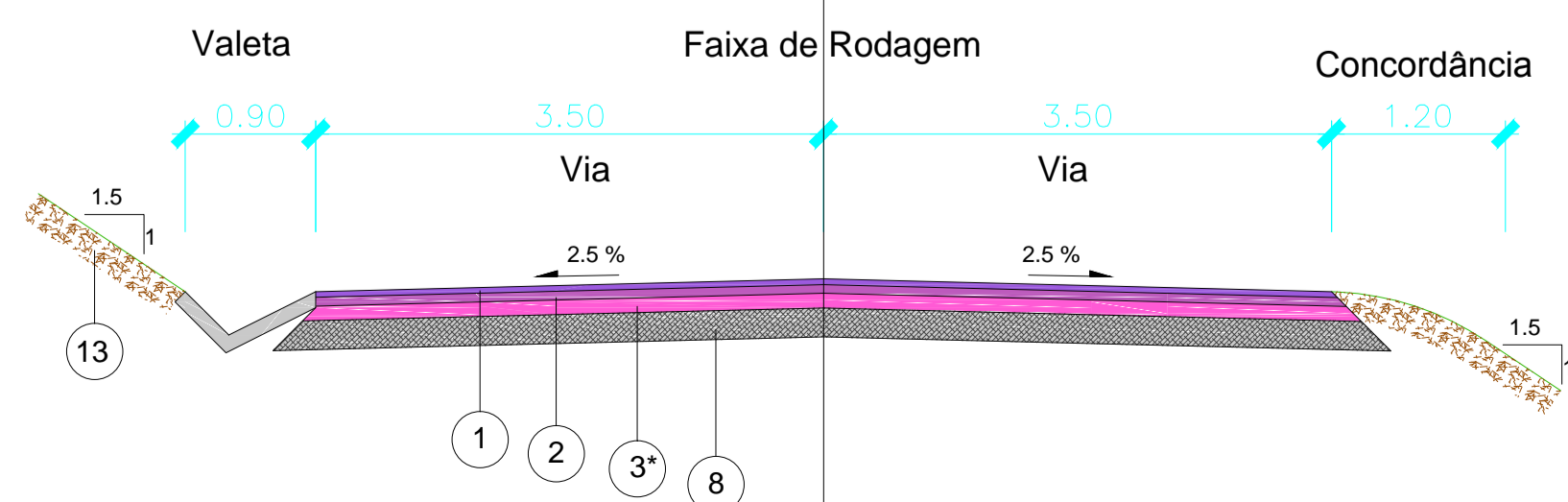


Perfil transversal tipo - Mistura Betuminosa de Alto Módulo sem passeios laterais



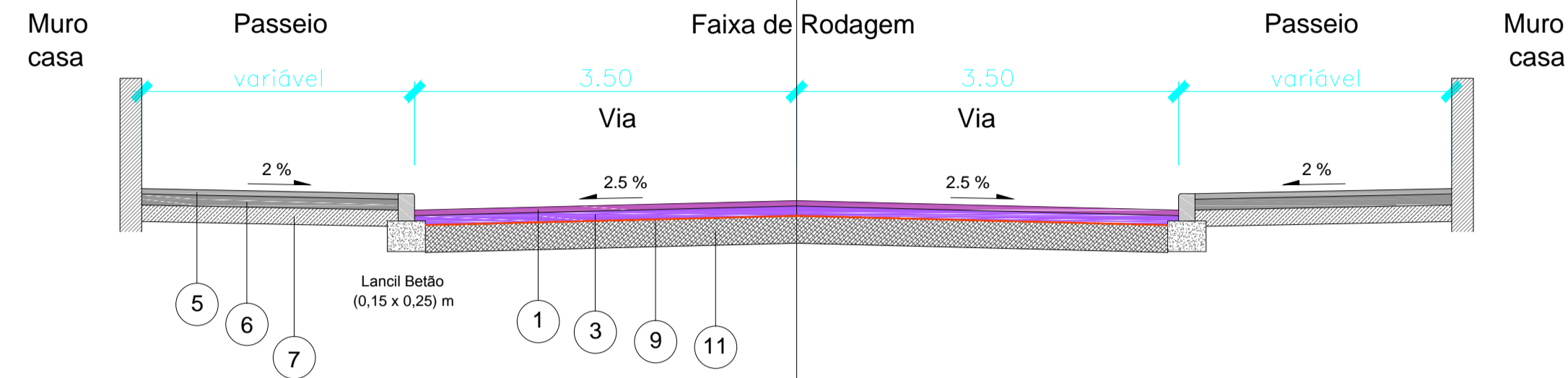
OU

Perfil transversal tipo - Subbase em ABGEC sem passeios laterais

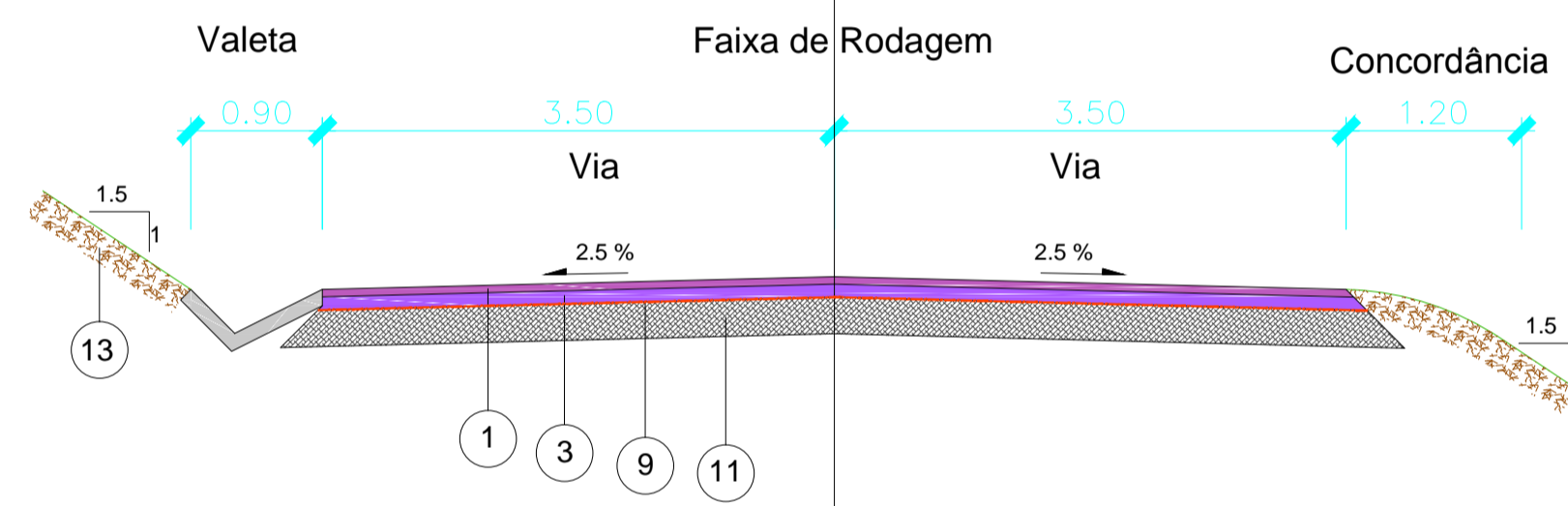


SOLUÇÃO DE MÉDIO PRAZO - PAVIMENTO TODO NOVO

Perfil transversal tipo - solução de médio prazo com passeios laterais



Perfil transversal tipo - solução de médio prazo sem passeios laterais

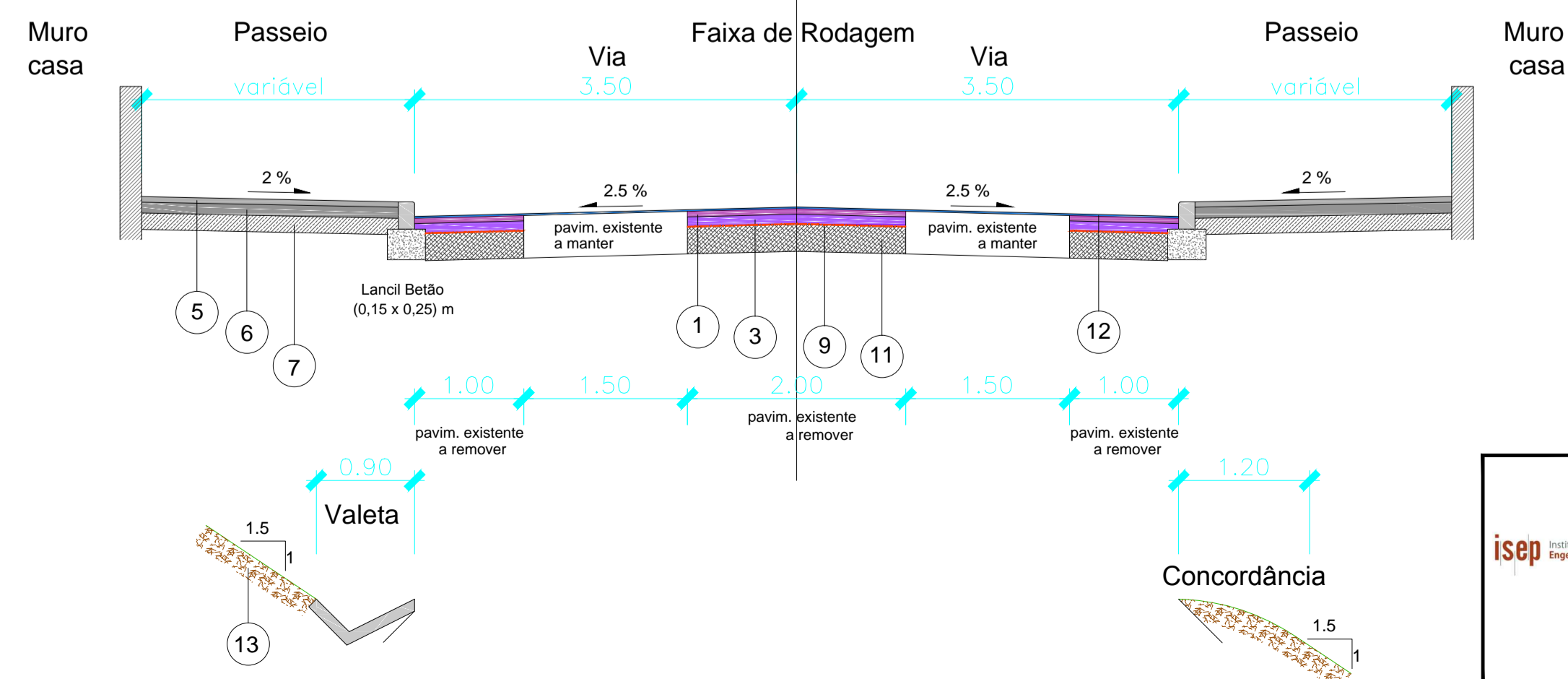


LEGENDA

Nº	Material	Espessura (cm)
1	Betão Betuminoso - Desgaste	4
2	Betão Betuminoso - Regularização	6
3	Mistura Betuminosa de Alto Módulo - Base	10
3*	Macadame Betuminoso - Base	10
4	Material de Granulometria Extensa - Sub base	20
5	Betonilha Esquartelada - Desgaste	5
6	Massame de Betão - Base	10
7	Material de Granulometria Extensa - Sub base	15
8	Material de Granulometria Extensa Reforçado com Cimento - Sub base	20
9	Rede Metálica ou Geogrelha	-
10	Terra Vegetal - Recobrimento de Taludes	20
11	Material de Granulometria Extensa - Sub base	25
12	Microbetão Betuminoso Novo	máx 2 cm

SOLUÇÃO DE CURTO PRAZO - PAVIMENTO PARCIALMENTE NOVO

Perfil transversal tipo - solução de curto prazo com passeios laterais



isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

Projecto: Projecto de Reabilitação da Estrada Municipal 607 no Concelho de Valongo
 Título: Perfis transversais tipo das soluções propostas de longo, médio e curto prazo
 Projectista: ISEP / DEC - DIPRE
 Ricardo Daniel Sousa Pereira - 1070100

Escala: 1/50
 Data: Setembro de 2014
 Nº do Desenho: 07