

## **Pavimentos para estradas de baixo tráfego**

**Ana Carolina Medinas Fernandes**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Militar**

**Orientadores:**

Professor Doutor Luís Guilherme de Picado Santos

Major de Engenharia Artur Jorge Espada Caracho

**Júri:**

Presidente: Professor Doutor João Torres de Quinhones Levy

Orientador: Professor Doutor Luís Guilherme de Picado Santos

Vogal: Professor Doutor José Manuel Coelho das Neves

Vogal: Tenente-Coronel de Engenharia Carlos Alberto Rocha Afonso

novembro de 2016







## Agradecimentos

Primeiramente quero agradecer a um conjunto de pessoas que contribuíram para a realização desta dissertação e de todo o meu percurso académico:

- ao meu orientador Professor Doutor Luís de Picado Santos por toda a orientação e disponibilidade;

- ao meu co-orientador Major de Engenharia Artur Caracho pela motivação e auxílio na obtenção da informação necessária;

- ao Capitão de Engenharia Tiago Flambó e ao Primeiro Sargento de Engenharia Sérgio Lopes por toda a informação a respeito do caso de estudo;

- à minha mãe por ser o melhor exemplo de determinação que tenho, pela paciência, incentivo, por me lembrar sempre até onde cheguei para ter forças para continuar e pela pessoa em que me tornei;

- à minha irmã por toda a confiança que sempre teve em mim, por todos os conselhos, por nunca me deixar desistir e por ser a pessoa que mais amo no mundo;

- ao meu pai e à Margarida pela a força que me transmitem e pela presença mesmo estando longe fisicamente;

- ao Paulo Silva e André pelos momentos de boa disposição constantes e incentivo;

- ao meu Padrinho, Luísa e Rita por serem a minha segunda família e por poder contar com eles para tudo;

- aos meus queridos amigos Ana Neto, Christian Sousa, Rui Fernandes e Constantino Gomes pela compreensão da minha ausência durante os últimos anos, e por mesmo assim nunca me ter faltado o seu apoio;

- às minhas camaradas e amigas Nádia Bento e Miriana Gonçalves por apesar do ano que nos separa nunca se terem esquecido de mim, pela presença constante na minha vida e percurso profissional, pela preocupação, motivação e pelas palavras certas nos momentos certos;

- à minha camarada e amiga Sónia Pedrinho por este último ano memorável, pelas palavras boas que tem sempre para me dizer e pelos abraços que vão fazer falta;

- aos meus camaradas de curso José Lameirão, José Matos, David Nabais, Pedro Costa, Filipe Lopes e Vítor Sousa por estes sete anos de convívio, por todos os bons e maus momentos e por todas as lições apreendidas;

- ao Humberto Cantante, pelos melhores e pelos piores momentos da minha vida, por todas as vezes que aprendi lições, mas principalmente por todo apoio nas piores fases do meu percurso profissional, por todas as vezes que não me deixou desistir e pela sua amizade que espero que dure para sempre;

- ao Emanuel Gonçalves pelo desabafo a qualquer hora do dia ou da noite, por todos os momentos em que me levantou quando caí, pela amizade que temos e que não se encontra em qualquer lado e por todos os momentos que ainda hão de vir com muitas histórias para contar.



## Resumo

As estradas de baixo tráfego são vias de comunicação importantes, pois a sua complementaridade à rede nacional e municipal é fundamental. São importantes para garantir a acessibilidade a algumas populações e o escoamento do produto das suas atividades económicas. Na pavimentação de estradas tem-se presenciado uma evolução técnica que é extremamente importante. O pavimento de uma estrada pode ter várias funções tais como, trabalhar como uma estrutura de engenharia e satisfazer os requisitos funcionais.

A presente dissertação visa a associação de determinados tipos de pavimentos à classificação de estrada de baixo tráfego existente. No fundo, pretende criar-se uma ferramenta teórica para enquadrar o caso de estudo. Neste caso, uma estrada elaborada pelo Regimento de Engenharia nº1 (RE1).

É descrito o processo de dimensionamento de um pavimento com vista a ser utilizado no caso de estudo. Utilizou-se o catálogo de pavimentação sugerido na bibliografia para fazer uma análise comparativa do caso de estudo qualitativamente. É analisada a utilização e constituição da estrada, mais especificamente o tipo de materiais utilizados, o número e a espessura das camadas na execução da mesma. Por fim, enquadrou-se o caso de estudo nos catálogos anteriormente propostos e identificam-se possíveis melhorias a implementar.

Conclui-se que o pavimento utilizado no caso de estudo é o correto, fazendo-se apenas ligeiras recomendações de aperfeiçoamento que poderão levar a um melhor desempenho do mesmo e também a uma redução de custos. É necessário garantir a uma manutenção da estrada e do seu pavimento de modo a garantir uma maior duração do mesmo.

## Palavras-chave

Estradas de baixo tráfego; Classificação; Dimensionamento de um Pavimento; Materiais de Pavimentação;



## **Abstract**

Low-volume roads are important means of communication, since their complementarity to the national and municipal network is fundamental. They are important to guarantee the accessibility to some populations and the disposal of the product of their economic activities. In the paving of roads has been witnessed a technical evolution that is extremely important. The pavement of a road can have several functions such as, work as an engineering structure and meet the functional requirements.

The present dissertation aims at the association of certain types of pavements with the existing low volume roads classification. In the background, it intends to create a theoretical tool to frame the case study. In this case, a road elaborated by the Engineering Regiment nº1 (RE1).

It is described the process of sizing a floor to be used in the case study. The paving catalog suggested in the bibliography was used to make a comparative analysis of the case study qualitatively. The use and constitution of the road is analyzed, more specifically the type of materials used, the number and the thickness of the layers in the execution of the same. Finally, the study case was framed in the previously proposed catalogs and possible improvements are identified.

It is concluded that the floor used in the case study is the correct one, making only slight refinement recommendations that could lead to a better performance of the floor and a reduction of costs. It is necessary to ensure the maintenance of the road and its pavement to guarantee a longer duration of the road.

## **Key words**

Low volume roads; Classification; Pavement Design; Pavement Materials;



# Índice

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO .....	2
1.3 METODOLOGIA .....	3
1.4 ORGANIZAÇÃO .....	3
<b>2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ESTRADAS DE BAIXO TRÁFEGO .....</b>	<b>5</b>
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	5
2.2 CLASSIFICAÇÃO.....	5
2.3 GEOMETRIA DO TRAÇADO .....	8
2.4 PAVIMENTOS .....	9
2.4.1 <i>Considerações Iniciais</i> .....	9
2.4.2 <i>Fundação do pavimento</i> .....	10
2.4.3 <i>Conceção de pavimentos</i> .....	10
2.4.4 <i>Estrutura dos pavimentos</i> .....	11
2.4.5 <i>Tipos de pavimentos</i> .....	13
2.5 MATERIAIS.....	14
2.5.1 <i>Considerações Iniciais</i> .....	14
2.5.2 <i>Solos</i> .....	14
2.5.3 <i>Materiais Granulares</i> .....	15
2.5.4 <i>Misturas betuminosas fabricadas a quente</i> .....	15
2.5.5 <i>Misturas com ligantes hidráulicos</i> .....	16
2.5.6 <i>Utilização de materiais locais</i> .....	16
2.6 CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS .....	17
<b>3 DIMENSIONAMENTO DE UM PAVIMENTO .....</b>	<b>21</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	21
3.2 DETERMINAÇÃO DO ESA.....	21
3.2.1 <i>Determinação do coeficiente médio de equivalência (EF) - Equivalent Factor</i> .....	21
3.2.2 <i>Determinação do número médio diário de eixos padrão (DESA)</i> .....	22
3.2.3 <i>Determinação do número acumulado de eixos padrão (CESA)</i> .....	22
3.3 DETERMINAÇÃO DO CBR .....	22
3.4 DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DAS CAMADAS .....	22
<b>4 SELEÇÃO DOS PAVIMENTOS A UTILIZAR PARA CADA CLASSIFICAÇÃO .....</b>	<b>25</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	25

4.2	TIPO DE ESTRUTURA DE PAVIMENTO PARA CADA CLASSIFICAÇÃO.....	25
4.2.1	<i>Classificação U1</i> .....	25
4.2.2	<i>Classificação U2</i> .....	26
4.2.3	<i>Classificação U3</i> .....	26
4.2.4	<i>Classificação U4</i> .....	27
4.2.5	<i>Classificação U5</i> .....	27
4.3	CASO DE ESTUDO – ESTRADA ABERTA EM CASTELO DE VIDE PELO REGIMENTO DE ENGENHARIA Nº1 (RE1).....	27
4.3.1	<i>Localização e utilização</i> .....	27
4.3.2	<i>Terreno</i> .....	28
4.3.3	<i>Trabalhos efetuados</i> .....	28
4.3.4	<i>Análise do caso de estudo</i> .....	30
4.3.5	<i>Recomendações a efetuar</i> .....	30
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....</b>	<b>33</b>
5.1	CONCLUSÕES.....	33
5.2	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	33
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>35</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>39</b>
	ANEXO A – CLASSIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS SEGUNDO A AUSTRROADS. ....	41
	ANEXO B – QUADRO 1 – REGRAS GERAIS BASEADAS NA CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA DE SOLOS (EP, 2009B) .....	43

## Índice de Quadros

QUADRO 2.1: FUNÇÕES TÍPICAS DE ESTRADA E CLASSIFICAÇÃO. (ADAPTADO DE SATCC, 2003).....	5
QUADRO 2.2: CLASSIFICAÇÃO DE ESTRADAS. (AUSTROADS, 2009A).....	6
QUADRO 2.3: CLASSES DE TRÁFEGO ATRAVÉS DO TMDAP. (JAE, 1995) .....	8
QUADRO 2.4: CLASSES DE FUNDAÇÃO. (ADAPTADO DE JAE, 1995) .....	10
QUADRO 2.5: FUNÇÕES DAS CAMADAS CONSTITUINTES DE UM PAVIMENTO. (ADAPTADO DE MTPW, 2013A).....	12
QUADRO 2.6: TIPOS DE PAVIMENTOS EM FUNÇÃO DOS MATERIAIS E DA DEFORMABILIDADE. (BRANCO ET ALL, 2006) .....	13



# Índice de Figuras

FIGURA 2.1: EXEMPLO DE TIPO DE ESTRADA COM A CLASSIFICAÇÃO U1. (AUSTROADS, 2009A) .....	6
FIGURA 2.2: EXEMPLO DE TIPO DE ESTRADA COM A CLASSIFICAÇÃO U2. (AUSTROADS, 2009A) .....	7
FIGURA 2.3: EXEMPLO DE TIPO DE ESTRADA COM A CLASSIFICAÇÃO U3. (AUSTROADS, 2009A) .....	7
FIGURA 2.4: EXEMPLO DE TIPO DE ESTRADA COM A CLASSIFICAÇÃO U4. (AUSTROADS, 2009A) .....	7
FIGURA 2.5: EXEMPLO DE TIPO DE ESTRADA COM A CLASSIFICAÇÃO U5. (AUSTROADS, 2009A) .....	7
FIGURA 2.6: IMPACTO DO TRÁFEGO E DE OUTROS FATORES DO AMBIENTE RODOVIÁRIO NA DETERIORAÇÃO DE UM PAVIMENTO. (ADAPTADO DE MTPW, 2013A) .....	8
FIGURA 2.7: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UM PAVIMENTO RODOVIÁRIO. (INIR, S.D.) .....	12
FIGURA 2.8: CONSTITUIÇÃO TIPO DE UM PAVIMENTO PARA ESTRADAS DE BAIXO TRÁFEGO. (ADAPTADO DE MTPW, 2013A) .....	12
FIGURA 2.9: EXEMPLO DE UMA ESTRADA COM DESAGREGAÇÃO. (MAI, 2005) .....	18
FIGURA 2.10: EXEMPLO DE ESTRADA COM RODEIRAS. (MAI, 2005) .....	19
FIGURA 2.11: EXEMPLO DE UMA ESTRADA COM DEPRESSÕES. (M.A.I., 2005) .....	19
FIGURA 2.12: EXEMPLO DE UMA ESTRADA COM COVAS. (MAI, 2005) .....	19
FIGURA 3.1: PROJETO PARA PAVIMENTOS GRANULARES (80% CONFIANÇA) - AUSTROADS (2009). (ADAPTADO DE JORGE, 2014)..	23
FIGURA 4.1: ESQUEMA TIPO DE UM PAVIMENTO DE CLASSIFICAÇÃO U1 .....	26
FIGURA 4.2: ESQUEMA TIPO DE UMA ESTRADA COM A CLASSIFICAÇÃO U2. ....	26
FIGURA 4.3: ESQUEMA TIPO DE UMA ESTRADA COM A CLASSIFICAÇÃO U3. ....	27
FIGURA 4.4: ESQUEMA TIPO DE UMA ESTRADA COM A CLASSIFICAÇÃO U4. ....	27
FIGURA 4.5: LOCALIZAÇÃO DA ESTRADA CONSTRUÍDA. ....	28
FIGURA 4.6: AFLORAMENTOS ROCHOSOS ENCONTRADOS NO TERRENO. ....	29
FIGURA 4.7: TRABALHOS EFETUADOS NO TERRENO .....	29
FIGURA 4.8: MUROS DE PEDRA EXISTENTES ANTES DA INTERVENÇÃO DO RE1 .....	29
FIGURA 4.9: CONSTRUÇÃO DA ESTRADA. ....	29
FIGURA 4.10: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PAVIMENTO EM ESTUDO. ....	29



## Lista de Abreviaturas e Siglas

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials  
AFCAP – Africa Community Access Programme  
CBR – California Bearing Ratio  
CESA – Cumulative Equivalent Standart Axle  
cm – Centímetro  
DESA – Design Equivalent Standart Axle  
EF – Equivalent Factor  
EP – Estradas de Portugal  
ESA – Equivalent Standart Axle (80 kN)  
JAE – Junta Autónoma de Estradas  
M – Metro  
MAI – Ministry of Administration and Interior (Romania)  
Min – Minuto  
Mm – Milímetro  
MTPW – Ministry of Transport and Public Works (Republic of Malawi)  
RE1 – Regimento de Engenharia nº1  
SATCC – Southern Africa Transport and Communications Commission  
TMDA – Tráfego Médio Diário Anual  
TMDAp – Tráfego Médio Diário Anual de pesados



# 1 Introdução

## 1.1 Considerações iniciais

Quando se fala de infraestruturas rodoviárias, foca-se a atenção nas estradas onde passa a maior parte do tráfego. No entanto, as estradas de baixo tráfego são da maior importância para garantir acessibilidade a algumas populações mais isoladas, permitindo uma vida própria e também uma vida profissional mais conforme as suas necessidades. Estas estradas garantem assim a sua importância ao nível do desenvolvimento económico e social. (Jorge, 2014)

Um projeto para uma estrada de baixo tráfego deve, como qualquer outro, ser técnica e financeiramente adequado, tendo também a influência de vários outros fatores, divididos em 2 grupos: os que são da responsabilidade do engenheiro, e os que são da responsabilidade do dono da obra. Em relação aos primeiros existe a necessidade de ter um projeto ambientalmente sustentável, tecnologicamente apropriado e financeiramente sólido. Em relação aos segundos é necessário obter aceitação social, ser economicamente viável e enquadrado com a instituição onde será inserido. Juntamente com os fatores já referidos temos o apoio político, não menos importante. (ERA, 2011)

Uma das coisas mais importantes nas estradas de baixo tráfego é a sua manutenção e preservação, não esquecendo também a relação custo-eficiência da rede. A viabilidade das infraestruturas é assegurada pelo sobretudo por um desempenho adequado dos pavimentos. Podemos dizer que os avanços na tecnologia dos materiais de pavimentação bem como nos métodos de conceção de pavimentos, após as inúmeras atividades de desenvolvimento e investigação vieram trazer um contributo muito significativo para a construção de pavimentos mais duradouros e com menores custos associados. (Hein e Croteau, 2004)

Até ao início do século XX, a rede rodoviária não satisfazia a sua função. Houve uma necessidade de dar os primeiros passos com vista a uma reestruturação da rede com a publicação do Plano Rodoviário em maio de 1945, do Regulamento das Estradas Nacionais em abril de 1948 e dos Planos Gerais de Estradas da Madeira e dos Açores. Neste período foi possível comprovar um grande desenvolvimento da rede. (Branco et al, 2006)

No entanto, a rede rodoviária nacional, comparada com a de outros países europeus, era considerada de grande extensão mas com uma baixa utilização de grande volume de tráfego em grande parte da sua extensão. Estes factos levaram a uma deficiente manutenção da sua qualidade e ao condicionado aumento da sua extensão. Devido a todos estes fatores, em 1985 foi aprovado o Plano Rodoviário Nacional com o objetivo de melhorar e modernizar a Rede Rodoviária Nacional. (Branco et al, 2006)

As estradas de baixo tráfego têm o princípio importante da utilização do máximo de materiais locais na sua construção. Muitas vezes, principalmente em zonas mais desenvolvidas, materiais naturais não transformados tal como os solos naturais e o cascalho foram excluídos perante materiais britados mais caros. Hoje em dia, estes materiais não transformados já são muitas vezes utilizados com sucesso e de forma rentável sempre com as devidas precauções. (ERA, 2011)

Em relação à constituição de um pavimento, pode afirmar-se que é definido como “um sistema multistratificado, formado por várias camadas de espessura finita, apoiadas na fundação constituída

pelo terreno natural (maciço semi-indefinido), o qual pode ter um coroamento de qualidade melhorada”. Pode ainda definir-se que um pavimento tem como função “assegurar uma superfície de rolamento que permita a circulação dos veículos com comodidade e segurança, durante um determinado período (a vida do pavimento), sob a ação das ações do tráfego e nas condições climáticas que ocorram”. (Branco et al, 2006)

Os conhecimentos sobre a pavimentação de estradas, nomeadamente em matérias como tecnologias e técnicas são de extrema importância. O pavimento de uma estrada pode ter várias funções sendo que tem como funções básicas, trabalhar como uma estrutura de engenharia e satisfazer os requisitos funcionais. Como estrutura que é, um pavimento deve ser composto por materiais de qualidade e de espessura suficiente de modo a suportar as cargas nele aplicadas. A nível funcional, o pavimento deve garantir uma viagem confortável e segura para os utentes e deve manter a sua integridade resistindo às tensões de superfície horizontais e verticais. (Austroads, 2009b)

A construção de um pavimento para estradas de baixo tráfego segue alguns princípios entre os quais se destacam: (TT, 2014)

- O pavimento ser construído e mantido a um custo mínimo;
- Suportar várias gamas de veículos;
- Proporcionar uma superfície que optimize o desgaste do veículo, o conforto do motorista e o consumo de combustível;
- Minimizar a poluição através das poeiras ou lama;
- Ter atrito suficiente para uma travagem segura.

Para além dos princípios já referidos para a construção do pavimento, são ainda considerados um conjunto de fatores tais como ambiente, materiais de construção, reabilitação, custo de ciclo de vida e trânsito, no que toca à estrutura do pavimento e metodologia de *design*. (AASHTO, 2001)

## **1.2 Objetivos da dissertação**

Em Portugal, as estradas de baixo tráfego são construídas por diversas entidades. A sua construção tem na maioria das vezes a mesma finalidade, tal como referido anteriormente, a mobilidade de pessoas e bens e o acesso à saúde, educação e alimentação.

A escolha deste tema é pertinente devido à importância das estradas de baixo tráfego para o desenvolvimento de um país. A pavimentação de estradas tem evoluído tecnicamente o que é uma grande mais-valia para todas as entidades construtoras de estradas, particularmente deste tipo.

O Exército Português, sendo uma das entidades com capacidade para a construção destas estradas, é muitas vezes solicitado pelas autarquias para construção das mesmas. Esta dissertação pretende ser um contributo para o Exército através da aplicação dos conceitos aqui explanados na construção de estradas de baixo tráfego

O objetivo desta dissertação é a escolha de um tipo de pavimento adequado a cada classificação de estradas de baixo tráfego considerada. As escolhas são utilizadas para estabelecer uma comparação qualitativa com um caso de estudo prático realizado pelo Exército. É utilizado também um processo de dimensionamento de modo a obter uma estrutura de pavimentação para o mesmo.

Após a comparação são ainda efetuadas algumas notas de modo a aumentar o desempenho do pavimento construído.

### **1.3 Metodologia**

Para a elaboração da dissertação foi efetuada primeiramente uma pesquisa no âmbito do tema das estradas de baixo tráfego, e de todos os conceitos com este relacionados.

Foi efetuada uma análise dos conceitos apreendidos e foi descrito um processo de dimensionamento utilizado para o caso de estudo. Posteriormente, com o apoio da bibliografia identificada, foi elaborado um catálogo de soluções para cada classificação adotada. Este tipo de soluções comporta o número e a espessura das camadas bem como a sua constituição.

Seguidamente foi efetuado um estudo e uma descrição de um caso de estudo sendo posteriormente comparado qualitativamente com o catálogo anteriormente definido. O método de dimensionamento descrito foi utilizado de modo a criar uma estrutura de pavimentação. Por fim são realizados alguns comentários com o objetivo de melhorar a solução que tinha sido adotada no caso de estudo.

### **1.4 Organização**

A presente dissertação encontra-se organizada em 5 capítulos, sendo eles:

#### Capítulo 1 – Introdução

A introdução visa a descrição do enquadramento do trabalho desenvolvido. São também apresentados os objetivos da dissertação, a metodologia usada e a sua organização.

#### Capítulo 2 – Características gerais das estradas de baixo tráfego

Neste capítulo são descritos os conceitos necessários à elaboração da dissertação. O capítulo tem em conta uma descrição geral das características das estradas de baixo tráfego. Foram analisados os conceitos utilizados na classificação de estradas, geometria do traçado e pavimentos dos pontos de vista relativos à fundação, conceção, estrutura e tipos. São descritos os materiais das diversas camadas e algumas noções sobre a conservação de pavimentos.

#### Capítulo 3 – Dimensionamento de um pavimento

Neste capítulo é analisado um processo de dimensionamento de um pavimento sendo especificadas todas as componentes necessárias na determinação das espessuras das camadas a utilizar.

#### Capítulo 4 – Seleção dos pavimentos a utilizar em cada classificação

Este capítulo comporta a análise aos tipos de pavimentos que devem ser utilizados para cada tipo de classificação considerada no capítulo anterior. São escolhidos o número de camadas, a sua dimensão e os materiais constituintes. Neste capítulo é também descrito o caso de estudo. Em relação a este é apresentada a sua localização, o terreno onde foi construída a estrada e os trabalhos

efetuados. Para finalizar é efetuada uma análise qualitativa do caso de estudo bem como apresentada uma estrutura do pavimento utilizando o método de dimensionamento e uma comparação com o que foi estabelecido no capítulo 2.

#### Capítulo 5 – Conclusões e desenvolvimentos futuros

No capítulo das conclusões e desenvolvimentos futuros são apresentadas as conclusões retiradas da elaboração da dissertação, bem como algumas sugestões de trabalhos que podem ser desenvolvidos futuramente no mesmo âmbito.

## 2 Características gerais das estradas de baixo tráfego

### 2.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo serão abordados todos os conceitos necessários à realização da dissertação. Após a pesquisa efetuada, os conceitos analisados terão em conta todo o tipo de estradas sendo dada uma primazia aos conceitos relacionados com as estradas de baixo tráfego, tema desta dissertação. O capítulo será iniciado com a classificação das estradas. Seguidamente foi abordada a geometria do traçado, os pavimentos, englobando a sua fundação, concepção, estrutura e tipo e, por fim, os materiais e a conservação de estradas.

### 2.2 Classificação

Não existe uma classificação de estradas universal, desenvolvendo os países, de forma isolada, em associação, ou adotando o sistema que satisfaz melhor as suas necessidades. Como tal, são apresentados em seguida os modelos de classificação de vários países e, por fim, o modelo adotado para a realização desta dissertação.

A classificação de uma estrada é na maior parte dos países efetuada através do valor Tráfego Médio Diário Anual (TMDA). Este valor é de importância extrema pois, durante a fase de planeamento, assume-se através dele a procura que determinada estrada vai ter. É apresentado em veículos por dia. (Costa e Macedo, 2008)

Começando pelo Reino Unido, onde as estradas são classificadas através da sua função e da sua capacidade, existem 6 grupos: Autoestradas, Estradas primárias A, Estradas não primárias A, Estradas B, Estradas C e Estradas não classificadas. Os três primeiros grupos são utilizados para viagens longas e de transporte de mercadorias, enquanto os três últimos são utilizados para acesso a zonas menos povoadas e viagens curtas. (Brito, 2011)

Alguns dos países africanos como Angola, Lesotho, Malawi, Swazilândia, Tanzânia, Zâmbia, Moçambique, Namíbia, África do Sul, Botswana e Zimbabué, constituem a Southern Africa Transport and Communications Commission (SATCC). Com exceção da África do Sul, a maior parte dos países pertencentes à SATCC tem uma baixa utilização das suas estradas. A maior parte do tráfego nas estradas rurais é muitas vezes não motorizado, como por exemplo, bicicletas. A classificação das estradas é feita de acordo com a sua função e é apresentada no

Quadro 2.1. (SATCC, 2003)

Quadro 2.1: Funções típicas de estrada e classificação. (adaptado de SATCC, 2003)

Classe de Projeto	Função da Estrada	Fluxo de Tráfego (TMDA)	Tipo de superfície típica
A	Estruturante/Primária	> 2000	Revestida
B	Primária	500 - 2000	Revestida
C	Primária/Secundária	200 - 500	Revestida / Não Revestida
D	Secundária/Terciária/acessos	50 - 200	Não Revestida
E	Terciária/acessos	< 50	Não Revestida

Nos Estados Unidos da América, a American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), estabelece o valor de 400 veículos, ligeiros e pesados, como o valor máximo de TMDA para uma estrada de baixo tráfego. Podem ainda ser consideradas subcategorias que compreendem os seguintes valores: <100, 100 – 250, 250 – 400. (AASHTO, 2001)

Adotando como modelo, a classificação de 2009 da Austroads, obtemos cinco classes de estradas de baixo tráfego, U1, U2, U3, U4 e U5. Os valores de TMDA para cada tipo de estrada variam conforme se apresenta no Quadro 2.2. Os veículos considerados para o valor de TMDA são diferentes consoante o tipo de estrada. Estes valores são também apresentados no Quadro 2.2. Para simplificar podemos dizer que os veículos de classe 1 a 3 são veículos ligeiros, enquanto os veículos com classe igual ou superior a 4 são os veículos pesados. Este valor de TMDA apresentado é considerado para as duas vias de trânsito. (Austroads, 2009a)

Quadro 2.2: Classificação de estradas. (Austroads, 2009a)

Classe	TMDA (veículos/dia)	Tipo de veículos <sup>1</sup>
U1	> 200	Classe 1 - 3 com 20% Classe ≥ 4
U2	100 - 200	Classe 1 - 3 com 10% Classe ≥ 4
U3	20 - 100	Classe 1 - 3 com 10% Classe ≥ 4
U4	< 20	Classe 1 - 3
U5	< 10	Classe 1 - 3

Nas seguintes figuras: Figura 2.1, Figura 2.2, Figura 2.3, Figura 2.4 e Figura 2.5 são apresentados exemplos de cada classificação acima mencionada.



Figura 2.1: Estrada com a classificação U1. (Austroads, 2009a)

<sup>1</sup> A classificação dos veículos pode ser consultada no Anexo A.



Figura 2.2: Estrada com a classificação U2. (Austroads, 2009a)



Figura 2.3: Estrada com a classificação U3. (Austroads, 2009a)



Figura 2.4: Estrada com a classificação U4. (Austroads, 2009a)



Figura 2.5: Exemplo de tipo de estrada com a classificação U5. (Austroads, 2009a)

A consideração de estruturas de pavimentos através do Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional em Portugal é efetuada usando o Tráfego Médio Anual Diário de pesados (TMDAp) na via de projeto. Este valor é obtido a partir do estudo de tráfego e é considerado em cada sentido e na via mais solicitada do qual são retiradas as várias classes de tráfego existentes. As classes de tráfego são apresentadas no Quadro 2.3. (JAE, 1995)

Quadro 2.3: Classes de tráfego através do TMDAp. (JAE, 1995)

Classe	TMDAp
T <sub>7</sub>	<50
T <sub>6</sub>	50 - 150
T <sub>5</sub>	150 - 300
T <sub>4</sub>	300 - 500
T <sub>3</sub>	500 - 800
T <sub>2</sub>	800 - 1200
T <sub>1</sub>	1200 - 2000
T <sub>0</sub>	>2000

Comparando com a classificação de 2009 da Austroads, podemos verificar que todas as estradas consideradas no Quadro 2.2 se encontram na classe T<sub>7</sub> do Quadro 2.3, já que a classe mais carregada, U1, terá até 20 veículos pesados na via mais solicitada (qualquer das vias, admitindo uma em cada sentido e uma repartição de tráfego de 50% para cada).

Apesar das considerações anteriormente referidas e de ser constantemente estabelecido um limite superior para o volume de tráfego que circula nas estradas de baixo tráfego, existem outros fatores do ambiente rodoviário que também podem influenciar diretamente a deterioração do pavimento. Na Figura 2.6 pode ser analisada essa influência. (MTPW, 2013a)

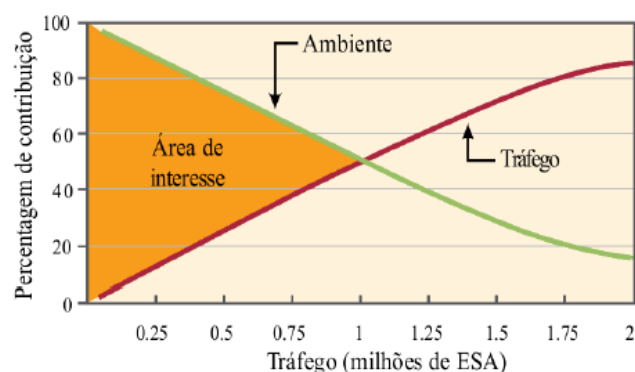


Figura 2.6: Impacto do tráfego e de outros fatores do ambiente rodoviário na deterioração de um pavimento. (adaptado de MTPW, 2013a)

### 2.3 Geometria do traçado

Na elaboração de um projeto de execução de uma estrada são definidas as características geométricas indispensáveis à satisfação da necessidade dos utentes. O custo de construção da estrada e os benefícios para os utentes da mesma são dois fatores importantes a ter em consideração no projeto. Os parâmetros da geometria são definidos de modo a serem assegurados os níveis mínimos de segurança e conforto dos utentes, bem como a visibilidade adequada, coeficientes de atrito e espaços de manobra necessários. (Jorge, 2014)

O projeto de uma estrada é efetuado através de um traçado com vários elementos, sendo eles: o traçado em planta, o traçado em perfil longitudinal e os perfis transversais tipo. Cada um contribui com as suas especificações necessárias construção de uma estrada. (InIR, 2010)

O traçado em planta tem como principais condicionantes a velocidade, as características geotécnicas, o meio ambiente, os custos e a topografia. Na definição deste traçado a adaptação ao terreno tem particular importância pois condiciona também os custos de construção, conservação e operação. (InIR, 2010)

O traçado em perfil longitudinal deve ajustar-se o mais possível ao terreno de modo a diminuir o custo da construção. Tem como fatores influenciadores a topografia, a integração no meio ambiente, a distância de visibilidade, o traçado em planta, a segurança, os custos de construção e a drenagem. A rasante deve ser definida de modo a ficar suficientemente afastada do nível freático do terreno, caso este seja superficial. (InIR, 2010)

Em relação aos perfis transversais estes são determinados por razões de segurança, comodidade e economia. Devem ter em conta também a proteção da natureza bem como os terrenos envolventes. Uma das suas características mais importantes é a largura das vias de tráfego, que é definida, para cada categoria de estrada, de acordo com a largura dos veículos e a zona livre. (InIR, 2010)

Quanto às estradas de baixo tráfego, existem alguns fatores influenciadores do seu traçado geométrico, dos quais se destacam o clima, a orografia do terreno, a demografia e o tráfego. (ERA, 2011)

## **2.4 Pavimentos**

### **2.4.1 Considerações Iniciais**

São várias as variáveis que influenciam a escolha da solução construtiva de um pavimento rodoviário. O tráfego, o clima, os materiais disponíveis, as condições de fundação e os custos de execução são os principais fatores a considerar para a escolha desta solução. (Santos, 2010)

As estruturas dos pavimentos, construídas tendo em conta os fatores referidos anteriormente são construídos com certas finalidades das quais se destacam: (Jorge, 2014)

- Redução de custos nos veículos, gerando conseqüentemente menos custos nos utentes;
- Garantir condições de segurança e conforto aos utentes;
- Garantir a resistência e transferência das cargas transmitidas pelo tráfego à fundação, sem sofrer alterações significativas no seu período de vida útil.

Um pavimento deve assegurar durante o período de dimensionamento (certo número de anos) a circulação do tráfego em determinadas condições. A capacidade de carga pode ser verificada considerando: (JAE, 1995)

- O TMDAp no ano de abertura;
- O período de dimensionamento;
- A taxa média de crescimento anual de veículos pesados no período de dimensionamento;
- A distribuição do tráfego pelas vias existentes num dado sentido.

## 2.4.2 Fundação do pavimento

Sendo o elemento que serve de apoio à estrutura do pavimento, a definição do tipo de fundação de um pavimento a nível da sua capacidade é um dos principais fatores. As fundações podem ter as mais variadas características e mostram uma grande variedade de condições de geologia, topografia, tipo de solo, drenagem e clima de cada região. Além disso, a fundação de um pavimento também influencia a sua espessura. (Jorge, 2014)

Com vista a atenuar as diferenças em relação à fundação de um pavimento, pode ser construída na parte superior dos terrenos de fundação uma camada de melhor qualidade a que chamamos de leito do pavimento. Esta camada tem como funções: (Branco et al, 2006)

- Garantir uma capacidade de suporte da fundação melhorada e mais uniforme;
- Assegurar uma melhor regularidade da superfície de apoio do pavimento
- Proteger as terraplanagens das intempéries;
- Suportar a circulação do equipamento de obra;
- Assegurar, caso necessário uma função drenante;
- Assegurar um papel anti contaminante, impedindo a ascensão dos finos que podem afetar a qualidade das camadas granulares.

Para constituição deste leito do pavimento os materiais mais frequentemente usados são: solos selecionados, materiais granulares não britados, materiais granulares britados e solos de pior qualidade melhorados através de mistura com cal ou aglutinantes hidráulicos. (Branco et al, 2006)

São consideradas quatro classes de fundação que são também aplicadas às classes de tráfego já definidas no Quadro 2.3. As classes de fundação, módulos de deformabilidade e classes de tráfego são apresentadas de seguida no Quadro 2.4. (JAE, 1995)

Quadro 2.4: Classes de fundação. (adaptado de JAE, 1995)

Classe de Fundação	Módulo da Fundação (Mpa)		Classe de Tráfego
	E	Valor de Cálculo	
F <sub>1</sub>	> 30 a ≤ 50	30	T <sub>5</sub> , T <sub>6</sub>
F <sub>2</sub>	> 50 a ≤ 80	60	T <sub>3</sub> , T <sub>4</sub> , T <sub>5</sub> , T <sub>6</sub>
F <sub>3</sub>	> 80 a ≤ 150	100	T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> , T <sub>4</sub> , T <sub>5</sub> , T <sub>6</sub>
F <sub>4</sub>	>150	150	T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> , T <sub>4</sub> , T <sub>5</sub> , T <sub>6</sub>

## 2.4.3 Conceção de pavimentos

A engenharia das estradas de baixo tráfego tem em si relacionados certos aspetos que se dividem em dois ramos: a avaliação estrutural, ligada aos custos de transportes, tempo de viagem, consumo de combustível, desgaste de pneus e manutenção de veículos, e a avaliação funcional ligada à irregularidade superficial e aos limites de velocidade. (Brito, 2011)

Há determinados aspetos a ter em consideração na conceção de pavimentos a utilizar em estradas de baixo tráfego, como os seguintes: (Fortunato et al, 2013)

- A importância da estrada, de modo a que o trânsito relacionado com a conservação e reabilitação das estradas não condicione as estradas de elevada importância;

- Orografia, adequando as soluções do pavimento às características do traçado em perfil longitudinal e em planta;

- Tráfego:

- Agressividade;
- Tipo de veículos e velocidades por estes praticadas;
- Número de veículos pesados – TMDAp;

-Aspetos geotécnicos ao longo do traçado:

- Condições de suporte do pavimento;
- Homogeneidade das condições de fundação;

- Disponibilidade de materiais / técnicas construtivas na zona da obra:

- Equipamentos / mão-de-obra disponíveis;
- Experiência adquirida anteriormente;
- Utilização de materiais naturais existentes na zona;
- Possibilidade de aplicação de materiais reciclados / alternativos disponíveis;

- Condições climáticas:

- Precipitação média anual;
- Precipitação máxima (24 h);
- Temperaturas (em particular nos pavimentos com revestimento betuminoso).

#### **2.4.4 Estrutura dos pavimentos**

O terreno nem sempre tem uma topografia ideal para a construção de uma estrada, pelo que o primeiro processo se designa de terraplenagem, que consiste nas escavações e aterros do terreno de tal modo a que a superfície da estrada seja construída com a ausência de inclinações excessivas. (Ferreira, 2009)

A superfície resultante da terraplenagem não exhibe características adequadas às cargas verticais e tangenciais dos veículos. Sendo que existe a necessidade da construção de uma plataforma adequada e bastante mais resistente a que damos o nome de pavimento. (Branco et al, 1996)

A execução do pavimento é obrigatória e garante o cumprimento de objetivos a curto prazo, tais como proteger os solos de fundação, o nivelamento da plataforma e uma capacidade de suporte suficiente. Já como objetivo a longo prazo destaca-se homogeneizar e garantir a manutenção da capacidade dos solos de fundação, tendo ou não, existido variações na quantidade de água existente nos solos. (EP, 2009a)

Os pavimentos são estruturas com características adequadas à circulação de veículos, tais como: elevada resistência, baixa deformabilidade, permeabilidade e aderência são tidas em consideração através de vários parâmetros como a intensidade e o tipo de tráfego, a velocidade máxima permitida e o tipo de clima predominante. (Ferreira, 2009)

Na Figura 2.7 é apresentado um esquema da estrutura de um pavimento rodoviário tipo.

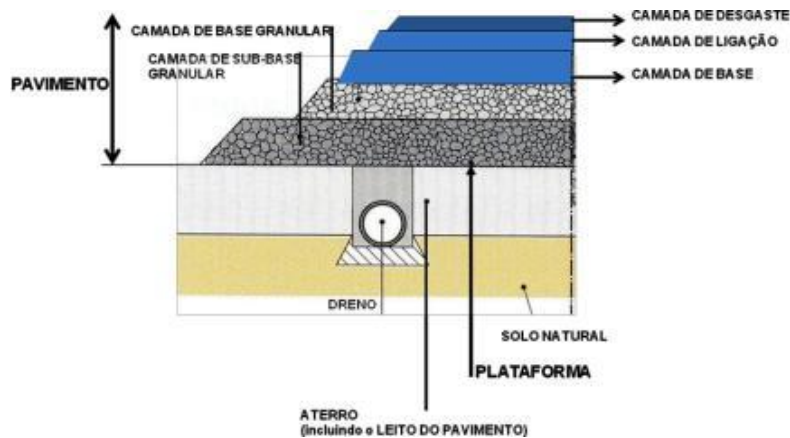


Figura 2.7: Diagrama esquemático de um pavimento rodoviário. (InIR, s.d.)

A resistência mecânica do pavimento é lhe conferida pelas camadas de base e sub-base granulares. Esta resistência é necessária para suportar as cargas verticais induzidas. A camada de base é a camada estrutural do pavimento enquanto a camada de desgaste é a camada superior onde tanto as agressões do tráfego como do clima são exercidas. Esta camada é também importante para a durabilidade da estrutura do pavimento. (InIR, s.d.)

Num pavimento para uma estrada de baixo tráfego existe a possibilidade de redução dos custos da mesma se adaptarmos a espessura das camadas, os materiais e as técnicas utilizadas ao tráfego solicitado. (Jorge et all, 2016)

Para as estradas de baixo tráfego vários autores sugerem a utilização de um pavimento constituído por três camadas. Sendo assim, acima da fundação podemos encontrar a camada de sub-base, seguida da camada de base e por fim a camada de desgaste. Na Figura 2.8 podemos encontrar um esquema tipo das estradas de baixo tráfego. (MTPW, 2013a)

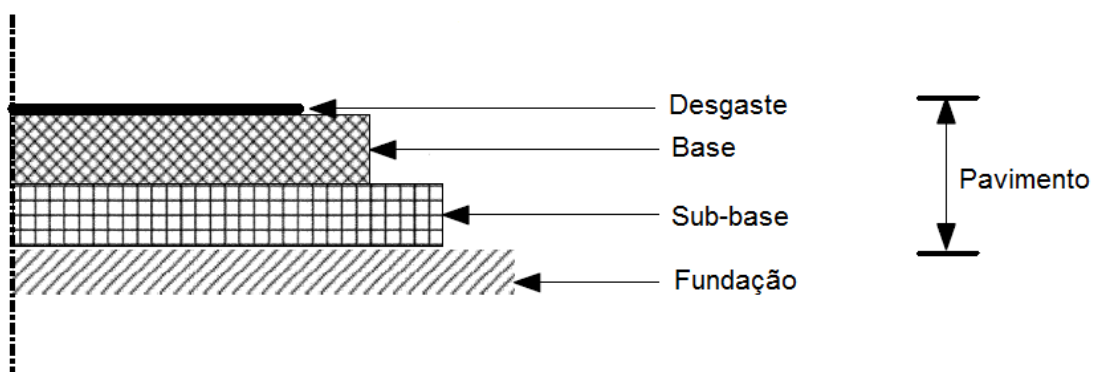


Figura 2.8: Constituição tipo de um pavimento para estradas de baixo tráfego. (adaptado de MTPW, 2013a)

Cada uma das camadas acima referidas tem a sua própria função no pavimento. Estas funções são apresentadas no Quadro 2.5.

Quadro 2.5: Funções das camadas constituintes de um pavimento. (adaptado de MTPW, 2013a)

Camada	Funções
Desgaste	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Fornece uma suave superfície de circulação.</li> <li>● Fornece uma superfície segura, económica, durável e adequada às várias condições atmosféricas.</li> <li>● Minimiza os custos operacionais e de manutenção de veículos.</li> <li>● Reduz a infiltração de água no pavimento.</li> <li>● Fornece propriedades adequadas para os utilizadores como redução da poeira e a resistência à derrapagem.</li> <li>● Delimita faixas de tráfego e bermas, ciclovias e dispositivos de acalmia de tráfego.</li> <li>● Torna o ambiente da estrada mais agradável à vista para os utentes e para a população residente ao longo do traçado.</li> </ul>
Base	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Fornece quase toda a capacidade estrutural do pavimento em termos de degradação de tensões através da resistência ao corte e coesão.</li> <li>● Minimiza as variações da resistência ao longo do tempo por ter baixa suscetibilidade à humidade.</li> <li>● Minimiza a humidade no pavimento por ter uma retração adequada e propriedades de resistência à fadiga.</li> <li>● Fornece uma superfície de rolamento suave pois possui, sob a ação de cargas, estabilidade de volume ao longo do tempo.</li> </ul>
Sub-base	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Fornece uma plataforma estável para a construção da camada de base.</li> <li>● Auxilia no desempenho da estrutura do pavimento para que as tensões na fundação se mantenham aceitáveis</li> </ul>
Fundação	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Material que constitui um suporte para o pavimento.</li> </ul>

#### 2.4.5 Tipos de pavimentos

Para classificação dos pavimentos rodoviários são utilizados dois critérios: o tipo de materiais e a deformabilidade. De acordo com estes critérios podem definir-se os pavimentos como flexíveis, rígidos e semi-rígidos (Quadro 2.6). (Branco et al, 2006)

Quadro 2.6: Tipos de pavimentos em função dos materiais e da deformabilidade. (Branco et al, 2006)

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

Os pavimentos flexíveis são compostos essencialmente por três camadas. O papel estrutural e funcional é assegurado por uma ou mais camadas superficiais. Estas camadas têm na sua constituição betões betuminosos ou misturas betuminosas. Para as estradas de baixo tráfego podemos apenas optar por um revestimento superficial betuminoso. Este revestimento não desempenha um papel estrutural. O papel estrutural essencial pertence a camada seguinte, a camada de base. Esta reduz e distribui as tensões sobre a sub-base e o solo de fundação. A sua constituição é de misturas betuminosas sendo que para estradas de baixo tráfego podem ser apenas constituídas por materiais granulares batidos de granulometria extensa. A camada de sub-base, permite o apoio da base e

também a adequada compactação. Esta camada permite também defender o solo de fundação do tráfego. É formada por materiais indicados para bases granulares. (Branco et al, 1998)

Nos pavimentos rígidos as suas camadas constituintes são normalmente a camada de desgaste, que contém na sua constituição um betão de cimento de boa qualidade. Esta camada tem uma função estrutural e funcional. Seguidamente temos a camada de sub-base, que tem como principal função a de garantir uma superfície estável, entre muitas outras. Esta camada pode ser constituída por materiais que também são utilizados nos pavimentos flexíveis. (Branco et al, 1998)

Os pavimentos semi-rígidos são pavimentos que englobam características comuns aos pavimentos flexíveis e rígidos. Podem dispor de uma camada de sub-base granulares, seguidamente de uma camada de agregado estabilizado com ligante hidráulico e ainda camadas superiores de misturas betuminosas. (Branco et al, 2006)

## **2.5 Materiais**

### **2.5.1 Considerações Iniciais**

O comportamento de um material utilizado para a construção de um pavimento pode ser afetado por vários fatores incluindo a natureza dos respetivos materiais. Fatores como a estabilidade, a impermeabilidade e a trabalhabilidade e a compactação são fatores importantes e necessários a ter em consideração em todas as camadas, enquanto a resistência ao desgaste tem a sua maior importância na camada de desgaste. (Austroads, 2009a)

Os materiais mais utilizados na construção são os solos, as materiais granulares, misturas betuminosas fabricadas a quente e misturas com ligantes hidráulicos.

### **2.5.2 Solos**

Um dos principais fatores a ser considerado no uso de solos, que quantifica a carga aplicada nos solos para resistindo em condições de deformação aceitáveis, é o Índice de Suporte Californiano, mais conhecido como CBR (California Bearing Ratio). Este ensaio é efetuado fazendo penetrar, num provete de solo, um cilindro com 5 cm de diâmetro, que desce à velocidade de 1 milímetro (mm) por minuto (min). É um ensaio mecânico que mede a resistência do solo. (Branco et al, 1998)

O uso de solos como camada de pavimento apenas é permitido como sub-base. Em estradas de baixo tráfego é possível usar solos noutras camadas tais como a camada de base ou de desgaste pelo que ficam as estradas conhecidas como "estradas de terra". A não ser para este tipo de estradas, hoje em dia já não são utilizados solos para as camadas de sub-base. (Branco et al, 1998)

Podem existir zonas em que as características dos solos não são as adequadas para a sua utilização. Nestes casos, caso se pretenda utilizar esse mesmo solo para uma camada mais resistente, pode recorrer-se à estabilização de solos. (Branco et al, 1998)

Com o objetivo de reduzir os custos de manutenção, melhorar as propriedades dos materiais da camada de base e proporcionar uma melhor superfície para as condições climáticas, a estabilização de pavimentos é várias vezes utilizada em estradas não revestidas. É necessária a identificação clara das propriedades a melhorar, sendo que as mais importantes são: durabilidade, resistência,

permeabilidade, estabilidade de volume e resistência à abrasão. Normalmente, um tratamento de estabilização tem efeito sobre todas as propriedades, podendo a sua influência ser sentida em graus diferentes. (Henning et all, 2008)

A escolha do método estabilizador tem em conta as condições climáticas extremas, podendo, independentemente do seu custo, serem preferidos uns métodos a outros. Os métodos mais comuns de estabilização são: estabilização mecânica, estabilização com cal, estabilização de cimento, estabilização incluindo emulsões betuminosas, estabilização química e geotêxtis. (Henning et all, 2008)

Existem requisitos que são exigidos para os solos e que dependem das diferentes aplicações existentes. Estes requisitos estão definidos no Caderno de Encargos Tipo Obra das Estradas de Portugal. (EP, 2014)

### **2.5.3 Materiais Granulares**

Os materiais incluídos nos granulares são os materiais naturais ou britados. São normalmente utilizados nas camadas de sub-base e de base. As características intrínsecas destes materiais estão relacionadas com o comportamento das camadas constituídas pelos mesmos, nomeadamente: (JAE, 1995)

- A natureza dos agregados (petrografia, textura);
- A forma dos agregados (lamelação e alongamento);
- As propriedades físicas dos agregados (porosidade, dureza, resistência ao desgaste e alterabilidade);
- A granulometria adotada (em particular a percentagem de finos);
- A quantidade de britados.

A utilização deste tipo de materiais com as características acima referidas é usualmente mais exigente nas camadas de base relativamente às camadas de sub-base. Existem ainda algumas características que influenciam de uma maneira mais rigorosa o comportamento mecânico das camadas tal como a compacidade, o teor em água e o estado de tensão. (JAE, 1995)

Com vista a obter um bom comportamento por parte dos materiais utilizados, é necessário garantir a homogeneidade das propriedades, tanto na produção como no transporte, espalhamento e compactação do material. (JAE, 1995)

Os requisitos exigidos para os materiais granulares são especificados no Caderno de Encargos Tipo Obra das Estradas de Portugal para os vários tipos de materiais granulares existentes e a sua utilização nas diferentes camadas do pavimento. (EP, 2014)

### **2.5.4 Misturas betuminosas fabricadas a quente**

Estas misturais são normalmente aplicadas nas camadas de regularização, desgaste e base. O emprego deste tipo de misturas é feito tendo os seguintes objetivos:

- Dar à estrutura do pavimento resistência às ações de tráfego;
- Limitar a entrada de água impermeabilizando as camadas do pavimento;
- Garantir aos utentes a circulação em segurança, economia e conforto.

Durante todo o processo, construção e entrada em serviço, é indispensável que as misturas se comportem de forma adequada, por isso é necessário garantir as seguintes características: trabalhabilidade, deformabilidade, resistência à fadiga, resistência à deformação permanente e durabilidade (principalmente nas camadas de desgaste).

Estas misturas possuem várias características mecânicas importantes que dependem de fatores como a composição volumétrica, o tipo de betume, as condições de temperatura e a velocidade de aplicação das cargas. (JAE, 1995)

As misturas betuminosas fabricadas a quente são utilizadas de forma diferente em cada camada e tipo de pavimento e, como tal, os requisitos exigidos para os materiais granulares são especificados no Caderno de Encargos Tipo Obra das Estradas de Portugal. (EP, 2014)

### **2.5.5 Misturas com ligantes hidráulicos**

Este tipo de materiais pode ser aplicado em camadas de desgaste, base e sub-base de pavimentos e podem ser repartidos em três grupos: os betões de cimento, as misturas de agregados com ligantes hidráulicos e as misturas de solo-cimento.

O comportamento das misturas com ligantes hidráulicos depende:

- Da dosagem e do tipo de ligante;
- Do tipo do agregado, das suas características físicas e da sua granulometria;
- Da compacidade da mistura;
- Das condições de cura.

A aplicação dos materiais em obra deve ser precedida de um estudo de formulação que defina a composição da mistura e que garanta as condições de compactação adequadas e os requisitos mínimos de resistência. (JAE, 1995)

Em relação às misturas com ligantes hidráulicos os requisitos exigidos consoante a sua utilização também são especificados no Caderno de Encargos Tipo Obra das Estradas de Portugal. (EP, 2014)

### **2.5.6 Utilização de materiais locais**

A utilização de materiais locais é, como já referido, um dos princípios fundamentais das estradas de baixo tráfego. Para a seleção destes materiais, podem ser considerados um certo número de fatores tais como: (Cook et al, 2013)

- Localização de materiais, qualidade e quantidade;
- Variabilidade;
- Características de comportamento;
- Aptidão para uso em pavimentos;
- Requisitos de processamento;
- Controlo de qualidade em escavação e aplicação;
- Impactes ambientais.

No caso de não serem encontrados nas proximidades do local materiais com as características adequadas, esta dificuldade pode ser ultrapassada através de: (Cook et al, 2013)

- Adaptação das especificações do projeto de modo a que estas vão de encontro às características dos materiais locais;
- Adaptação ou modificação dos materiais de acordo com os requisitos estabelecidos.

## 2.6 Conservação de pavimentos

A conservação de pavimentos é considerada como um conjunto de ações que são realizadas com o objetivo de preservar e prolongar a vida útil desse mesmo pavimento até à sua reabilitação ou reconstrução. (USDT, 1996)

A degradação de um pavimento pode ocorrer de duas formas: superficial ou estrutural. As degradações superficiais são conhecidas por afetarem o comportamento da superfície do pavimento, refletindo-se na redução da segurança e comodidade dos utilizadores que neste circulam. Em relação às degradações estruturais, estas manifestam-se pelo aparecimento de patologias à superfície do pavimento, o que pode resultar da falta de capacidade de carga do solo de fundação ou ruína dos materiais constituintes da estrutura do pavimento. (Figueiredo, 2011)

A deterioração de um pavimento manifesta-se de maneira diferente consoante o seu tipo. As diferenças na constituição dos pavimentos são importantes para a verificação desse facto.

- **Pavimentos Flexíveis:** os pavimentos flexíveis têm uma constituição bastante diversa, que depende da intensidade do tráfego, da capacidade de suporte do solo de fundação e das características dos materiais disponíveis. A evolução apresentada por um pavimento flexível, ao longo da sua vida traduz-se muitas vezes nas degradações que reduzem a qualidade do mesmo. (Pereira e Valverde, 1999)

- **Pavimentos Rígidos:** a constituição e comportamento dos pavimentos rígidos é bastante diferente dos pavimentos flexíveis, pelo que há alguns conceitos que é necessário referenciar. Os pavimentos rígidos têm na sua constituição uma laje de betão com uma função de camada de base e de desgaste, apoiada numa camada de sub-base de material granular de preferência estabilizado com betão pobre. Os esforços de tração por flexão da laje de betão, elemento estrutural do pavimento, devido à atuação das cargas dos veículos e os esforços resultantes das ações térmicas são os mais severos para este tipo de pavimento. (Pereira e Valverde, 1999)

- **Pavimentos Semi-Rígidos:** os pavimentos semi-rígidos têm uma camada de desgaste e de regularização idêntica à dos pavimentos flexíveis, sendo que a diferença entre estes dois tipos de pavimentos é a camada de base. Esta camada é constituída por um material granular estabilizado com ligante hidráulico e a camada de sub-base por uma material granular estabilizado mecanicamente. A camada de base, devido à sua elevada rigidez absorve a maior parte dos esforços a que o pavimento está sujeito (Pereira e Valverde, 1999)

As anomalias de superfície de um pavimento podem ser enquadradas em dois grupos distintos: deterioração de superfície e deformação da superfície. Contudo, importa referir que a deterioração de superfície está intimamente relacionada com a qualidade dos materiais utilizados na pavimentação e na forma como estes respondem a diversas solicitações, por exemplo, à variação das condições meteorológicas e às solicitações do próprio tráfego, entre outras. É importante realçar que a existência de um sistema de drenagem é fundamental para o desempenho do pavimento. (MAI, 2005)

Em seguida será feita uma breve abordagem aos tipos de defeitos que contribuem para a deterioração da superfície. (MAI, 2005)

- **Poeira:** O controlo da poeira tem grande relevância em termos económicos, ambientais, segurança e de saúde. A poeira resulta da perda de partículas finas a partir do revestimento dos pavimentos devido ao desgaste provocado pelo tráfego e pelas condições climatéricas. Consequentemente, a perda de finos torna as superfícies mais permeáveis e diminui, simultaneamente, a coesão dos materiais de revestimento;

- **Perda de agregados:** A perda de agregados revela-se com a formação de cordões compostos por agregado grosseiro. Esta anomalia ocorre, geralmente, em zonas com solos muito argilosos, onde o processo de compactação não foi efetuado de forma adequada. Por outro lado, pode ocorrer também em terrenos planos onde existe pouco material fino ou ainda porque a composição inicial do material de pavimentação apresenta défice de agregados de dimensão intermédia. Na Figura 2.9 é apresentado um exemplo para este tipo de deterioração;



Figura 2.9: Estrada com desagregação. (MAI, 2005)

- **Falta de aderência:** Este fenómeno ocorre quando a superfície do pavimento contém excesso de agregados finos plásticos (argila, silte argiloso ou finos calcários), em comparação com a quantidade de agregados grosseiros. No entanto, a presença de agregados finos plásticos em quantidades adequadas, contribui para a coesão dos materiais, tornando o pavimento menos permeável. Em contrapartida, quando o ambiente se torna mais húmido, a superfície do pavimento torna-se escorregadia, podendo mesmo ficar intransitável. As solicitações a que o pavimento é sujeito, nomeadamente o tráfego, podem reduzir a quantidade de agregados graúdos, desequilibrando a constituição do pavimento, contribuindo dessa forma para a falta de aderência.

No que diz respeito à deformação da superfície, em seguida serão explicados alguns defeitos que contribuem para a mesma: (MAI, 2005)

- **Rodeiras:** As rodeiras caracterizam-se pela formação de depressões longitudinais ao longo da via, originando uma deformação permanente no pavimento devido à passagem de veículos. A baixa capacidade de suporte do material, as cargas excessivas e a existência de um sistema de drenagem ineficaz são fatores que promovem o aparecimento destes deste tipo de defeitos. Na Figura 2.10 é apresentado um exemplo deste tipo de deformação;



Figura 2.10: Estrada com rodeiras. (MAI, 2005)

- **Ondulação:** A ondulação consiste na formação de ondas na direção transversal, resultantes da passagem de veículos. Este defeito surge, geralmente, em superfícies pouco coesas;

- **Depressões:** As depressões são zonas baixas, que resultam de assentamentos, teor de humidade excessivo e/ou drenagem inadequada. É importante realçar que as depressões afetam áreas maiores do que as covas. Na Figura 2.11 é apresentado um exemplo deste tipo de deformação;



Figura 2.11: Estrada com depressões. (M.A.I., 2005)

- **Covas:** As covas são pequenas depressões na superfície do pavimento, com um ou mais centímetros de profundidade, que podem ser causadas por humidade excessiva, por uma drenagem ineficaz, por fundações fracas, agregado mal graduado, ou uma combinação destes fatores. Na Figura 2.12 é apresentado um exemplo deste tipo de deformação;



Figura 2.12: Estrada com covas. (MAI, 2005)

- **Pontos fracos:** São áreas da superfície do pavimento e/ou fundação enfraquecidos por uma drenagem deficiente. Estas áreas abatem sob a ação das cargas dos veículos, podendo originar um ou mais tipos de deformações da superfície.

As atividades de conservação são classificadas em termos da sua frequência. Podem assim distinguir-se quatro categorias de conservação: (MAI, 2005)

- **Conservação Urgente:** é utilizada em casos de emergência e problemas que necessitam de uma ação imediata, no caso de uma estrada estar intransitável. Envolve ações como execução de obras de desvio, colocação de sinais de alerta e remoção de detritos ou outros obstáculos;

- **Conservação Periódica:** é utilizada com intervalos de vários anos. Este tipo de manutenção tem um custo variável e exige, normalmente, mão-de-obra especializada e equipamentos de maior dimensão. Esta manutenção efetua-se através de uma recarga de material granular para pavimentos não revestidos e através de recarga de bermas, marcação da superfície do pavimento e intervenções no revestimento para pavimentos revestidos;

- **Conservação recorrente:** depende do volume de tráfego que utiliza a estrada e é efetuada em intervalos de tempo regulares durante o ano. A manutenção recorrente é tratada como uma atividade de custo variável pois a sua frequência depende do tráfego e das características de cada estrada. Num pavimento não revestido este tipo de manutenção inclui reparação de covas e sulcos, enquanto num pavimento revestido inclui tapamento de covas e reparações localizadas;

- **Conservação de rotina:** este tipo de conservação é necessária continuamente em todas as estradas independentemente das suas características e volume de tráfego. A manutenção de rotina é, por definição baseada numa base regular e não depende da natureza da estrada nem do tráfego embora seja dependente das condições climáticas e meteorológicas. Tem um custo fixo no orçamento. Contempla atividades de manutenção como o corte de vegetação, limpeza de órgãos de drenagem, regularização de valas, manutenção de aquedutos e controlo de erosão.

## 3 Dimensionamento de um pavimento

### 3.1 Considerações Iniciais

De modo a alcançar um método mais rentável para a construção de estradas com baixo volume de tráfego, o método de dimensionamento de um pavimento tem em consideração as condições climáticas, o tráfego, as condições de fundação e os materiais de modo que estes permitam uma poupança na espessura das camadas. Estes fatores devem ser considerados da seguinte forma: (CEPSA, 2010)

- Tráfego: deve ser contemplado no projeto o volume de tráfego, a sua composição, crescimento e período de vida;
- Condições de fundação: depende na natureza e das propriedades dos solos. Reflete-se na capacidade de suporte da fundação sobre a qual assenta o pavimento;
- Materiais: como referido anteriormente deve ter-se em conta os materiais disponíveis nas proximidades da obra sendo que é bastante elevada a variedade de materiais e procedimentos existentes;
- Condições climáticas: aquelas a que o pavimento está sujeito tal como a precipitação e a temperatura têm uma grande influência no seu comportamento.

Utilizando novamente o modelo da Austroads mas desta vez para o dimensionamento, o processo inicia-se com a determinação da resistência da fundação. Para avaliar a fundação são determinados o CBR, os parâmetros elásticos e o módulo de reação da fundação (k). Este valor é considerado determinante na estrutura do pavimento. É também necessário determinar o valor do número equivalente de eixos padrão ou *Equivalent Standart Axle* (ESA). A estrutura do pavimento é então determinada através das curvas de conceção. (Austroads, 2009a)

### 3.2 Determinação do ESA

#### 3.2.1 Determinação do coeficiente médio de equivalência (EF) - Equivalent Factor

O EF é determinado para cada categoria de veículos que irão utilizar a estrada e transforma os veículos de cada classe em eixos padrão. Os danos estruturais de um pavimento são causados pelo consumo de capacidade resistente consumida pelo tráfego. De modo a determinar esses danos estruturais de forma simplificada, a natureza variada das cargas transmitidas é transformada num único parâmetro, o ESA. Este valor é calculado através do número total de veículos pesados que utilizarão a estrada ao longo da vida útil do pavimento. (Jorge, 2014)

O valor de EF calcula-se através da equação (3.1).

$$EF = \left(\frac{P}{80}\right)^n \quad (3.1)$$

em que:

EF – Coeficiente de equivalência de uma carga P em número de eixos padrão;

P – Carga por eixo (kN);

n – Expoente de dano relativo.

O tipo de materiais utilizados na estrutura de um pavimento e a espessura do mesmo são os principais fatores influenciadores do valor de n. Segundo o *Design Manual for Low Volume Roads* (E.R.A., 2011) este expoente toma normalmente o valor de 4. (Jorge, 2014)

### 3.2.2 Determinação do número médio diário de eixos padrão (DESA)

O valor do DESA é obtido através do EF e do DESA segundo a equação (3.2).

$$DESA = EF \times TMDA \quad (3.2)$$

### 3.2.3 Determinação do número acumulado de eixos padrão (CESA)

O CESA é o valor utilizado para efeitos de dimensionamento é calculado segundo a equação (3.3).

$$CESA = 365 \times DESA \times \frac{(1 + r)^N - 1}{r} \quad (3.3)$$

em que:

r – Taxa de crescimento anual, expressa como fração decimal;

N – Período de dimensionamento, em anos.

O período de dimensionamento é afetado por uma série de fatores entre os quais se destacam a importância estratégica da estrada, as estratégias de manutenção, as condições de financiamento e o tempo previsto para a reabilitação. Quanto à taxa de crescimento anual esta é prevista depois da avaliação do tráfego. (MTPW, 2013b)

## 3.3 Determinação do CBR

Segundo Brito e Graeff, (2009), o ensaio de CBR é utilizado para calcular a espessura das camadas apesar de apenas pressupor uma análise qualitativa da capacidade de suporte do material. Apesar de não podermos retratar as condições de confinamento e carregamento de um pavimento real num ensaio CBR este método é aceite para determinar a resistência da fundação. O valor do CBR representa a resistência da fundação, sendo que quanto maior o valor da resistência, maior o valor de CBR e conseqüentemente menor a espessura da camada. Este método não aceita valores de CBR inferiores a 3 visto que isso representaria uma solução bastante fraca. (Jorge, 2014)

Como já referido anteriormente, este ensaio é efetuado fazendo penetrar, num provete de solo, um cilindro com 5 cm de diâmetro, que desce à velocidade de 1 mm/min.

## 3.4 Determinação da espessura das camadas

Depois de determinados todos os dados, estes são introduzidos nas curvas de concepção que podemos encontrar na Figura 3.1. É importante referir que o método considera uma espessura mínima da base de 100 mm.

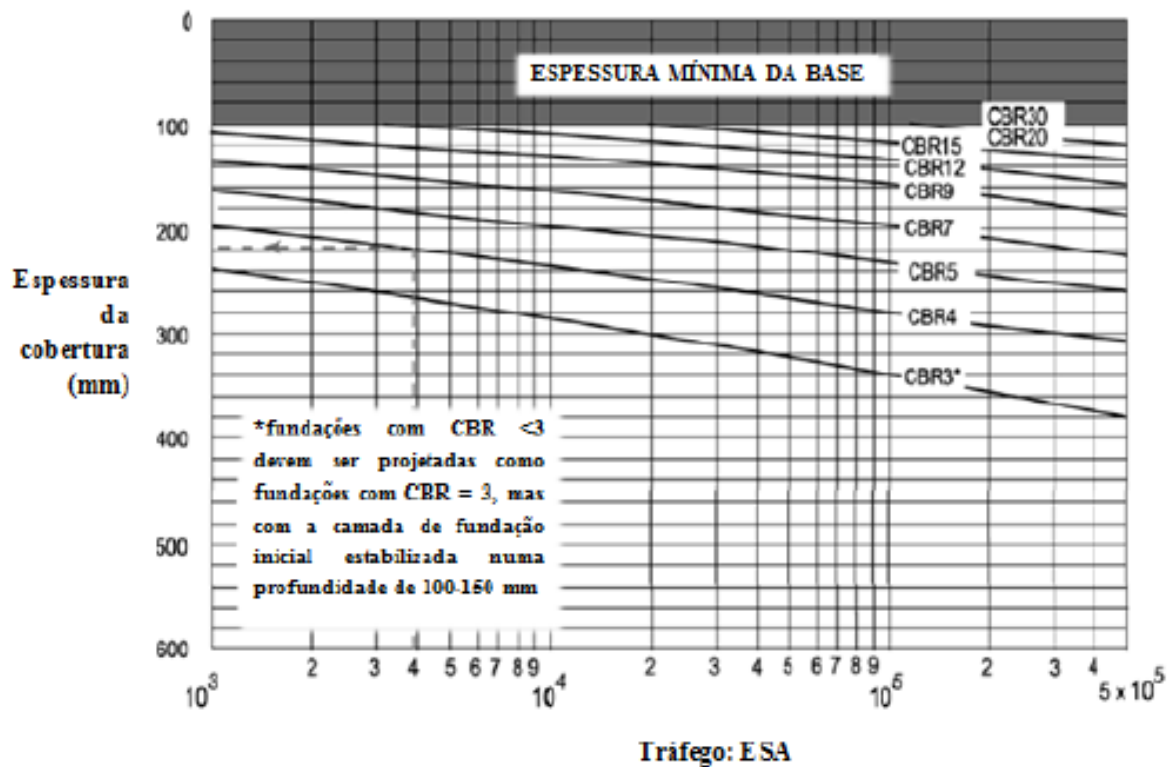


Figura 3.1: Projeto para pavimentos granulares (80% confiança) - Austroads (2009). (adaptado de Jorge, 2014)

O método é utilizado através de uma avaliação *bottom-up*, ou seja de baixo para cima. A capacidade resistente de um terreno reflete a espessura da camada que lhe está imediatamente acima. Na existência de mais de uma camada, este método é aplicado a cada uma das camadas. (Jorge, 2014)



## **4 Seleção dos pavimentos a utilizar para cada classificação**

### **4.1 Considerações Iniciais**

Como referido anteriormente, os critérios utilizados para a escolha do tipo de pavimento são o volume e o tipo de tráfego, que afeta a espessura e a qualidade da camada de desgaste do pavimento, a velocidade do tráfego em relação às emissões de poeira e à segurança, a importância do pavimento em relação aos impactos sociais e económicos e verificar a disponibilidade de materiais para a camada de desgaste para não elevar os custos de manutenção.

Como se está a efetuar o estudo de estradas de baixo tráfego, pode-se dizer que os materiais granulares são a principal opção de utilização devido também a serem de mais fácil obtenção. Não esquecer que um dos princípios mais importantes das estradas de baixo tráfego é a utilização de materiais disponíveis na zona. Em relação ao tipo de pavimentos podemos considerar os pavimentos flexíveis, em geral com camada de desgaste formada por esses materiais não ligados, disponíveis na zona.

Existe, para cada tipo de classificação de estrada considerada no capítulo 2, uma solução estrutural de pavimento que melhor se adequa à mesma. Esta solução estrutural, apresentada pela Austroads, conta com o número de camadas utilizadas, com a sua espessura e o material utilizado. Para cada classificação será então descrita a solução que melhor se adequa. O catálogo de soluções considerado será o de 2009 da Austroads, tal como a classificação utilizada e o processo de dimensionamento escolhido.

O caso de estudo apresentado será posteriormente analisado e comparado com as soluções e classificações consideradas e serão também apresentadas medidas de modo a aperfeiçoar a solução utilizada no caso de estudo.

### **4.2 Tipo de estrutura de pavimento para cada classificação**

#### **4.2.1 Classificação U1**

A estrutura deste pavimento pode ser utilizada em todo o tipo de condições meteorológicas e contém um adequado sistema de drenagem. Acima da camada de fundação devem existir pelo menos duas camadas cujos materiais usados podem ser solos modificados mecanicamente (mistura de solos) para aumentar a resistência mecânica ou granulares (naturais ou britados), principalmente nas camadas de base e de desgaste. Para esta classificação a Austroads sugere três camadas. (Austroads, 2009a)

Os materiais usados neste tipo de pavimento podem ser de pedreira, solos naturais e cascalho. A camada de desgaste pode ter como tamanho máximo do material britado 20 mm e uma espessura mínima de 10 cm. Quanto à camada de base, o material pode ter até 40 mm de dimensão e a camada pelo menos 15 cm de espessura. Em relação à camada de sub-base os materiais que a compõem podem ter um máximo de 55 mm e a camada uma espessura mínima de 15 cm. O esquema do pavimento pode ser consultado na Figura 4.1. (Austroads, 2009a)

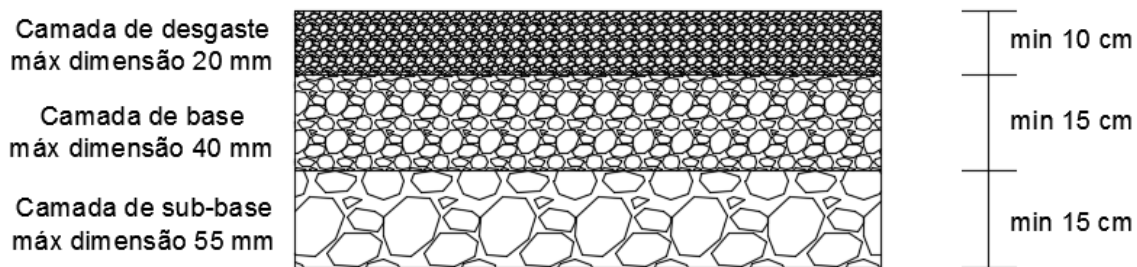


Figura 4.1: Esquema tipo de um pavimento de classificação U1.

#### 4.2.2 Classificação U2

O tipo de pavimento usado para esta classificação pode ser utilizado em quase todo o tipo de clima e a sua drenagem não apresenta uma importância considerável. É constituído por duas camadas de pavimento acima da fundação. Para a camada de desgaste podem ser utilizados materiais granulares ou modificados. Os materiais usados neste tipo de pavimento podem ser de pedra ou solos naturais e cascalho tal como a classificação anterior.

Quanto às camadas temos a camada de desgaste e a de base. A camada de desgaste com materiais de dimensões máximas de 40 mm deve ter no mínimo 10 cm de espessura, enquanto a camada de base com materiais com tamanho máximo de 55 mm deve ter uma espessura mínima de 15 cm. Um esquema do pavimento pode ser consultado na Figura 4.2. (Austroads, 2009a)

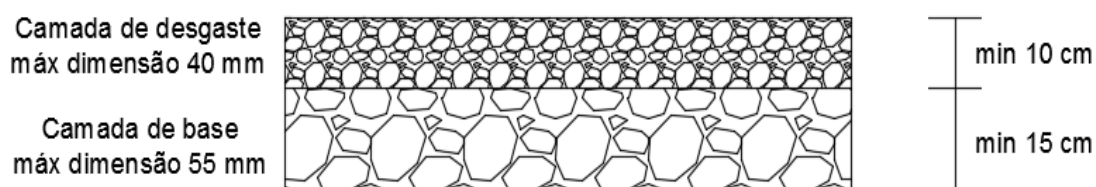


Figura 4.2: Esquema tipo de uma estrada com a classificação U2.

#### 4.2.3 Classificação U3

Com um máximo de duas camadas acima da fundação este tipo de estrutura de pavimento leva uma drenagem apenas superficial. Na camada de desgaste podem ser utilizados os materiais granulares ou modificados como resíduos de pedreiras e cascalho natural.

A solução compreende a camada de desgaste com materiais de tamanho máximo de 40 mm e com uma espessura de 10 cm e a camada de sub-base com materiais com 55 mm de tamanho máximo e 15 cm de espessura. Um esquema do pavimento pode ser consultado na Figura 4.3. (Austroads, 2009a)

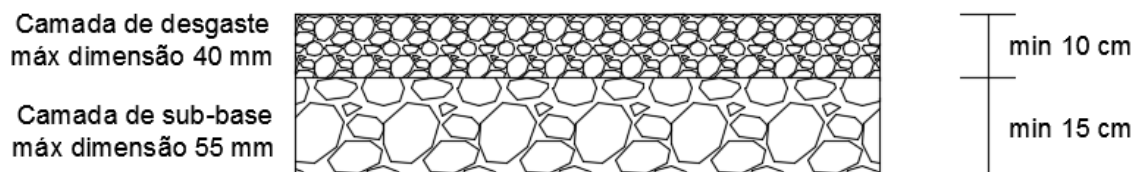


Figura 4.3: Esquema tipo de uma estrada com a classificação U3.

#### 4.2.4 Classificação U4

Para a classificação U4 obtemos uma estrutura de pavimento mais simples formada apenas por uma camada de cima da camada de base granular. Esta camada pode ser constituída por materiais com um máximo de 50 mm de dimensão com uma espessura de mínimo de 15 cm. Esta camada é considerada a camada de desgaste. Um esquema do pavimento pode ser consultado na Figura 4.4. (Austroads, 2009a)



Figura 4.4: Esquema tipo de uma estrada com a classificação U4.

#### 4.2.5 Classificação U5

A estrutura mais básica da classificação compreende apenas a camada de base granular. Normalmente para se obter o pavimento final procede-se apenas à retirada da vegetação existente na parte superior da camada de fundação. Em alguns casos pode ser colocada uma camada de desgaste de modo a melhorar a circulação do tráfico. (Austroads, 2009a)

### 4.3 Caso de estudo – estrada aberta em Castelo de Vide pelo Regimento de Engenharia nº1 (RE1)

#### 4.3.1 Localização e utilização

O RE1 abriu entre 2 de fevereiro e 12 de junho de 2015 uma estrada próxima da localidade de Castelo de Vide designada por caminho de Marrões. A localização da estrada está representada na Figura 4.5. A estrada tem cerca de 1450 metros, conta com um desnível de cerca de 115 metros e foi aberta principalmente por dois motivos. O primeiro foi para permitir o acesso a um certo número de terrenos por parte dos seus proprietários, visto que antigamente não era possível aceder viaturas motorizadas. O segundo motivo foi o acesso à zona de mata por viaturas de combate a incêndios. No verão, com o aumento da probabilidade de incêndio, foi sentida a necessidade de garantir o acesso a zonas até então inacessíveis ou com o acesso de alguma forma bastante difícil. Deste modo seria

possível a passagem mais eficaz destes veículos a estas zonas em caso da ocorrência de incêndio. Esta estrada faz ainda a ligação entre a estrada nacional nº2 e uma zona de mata.

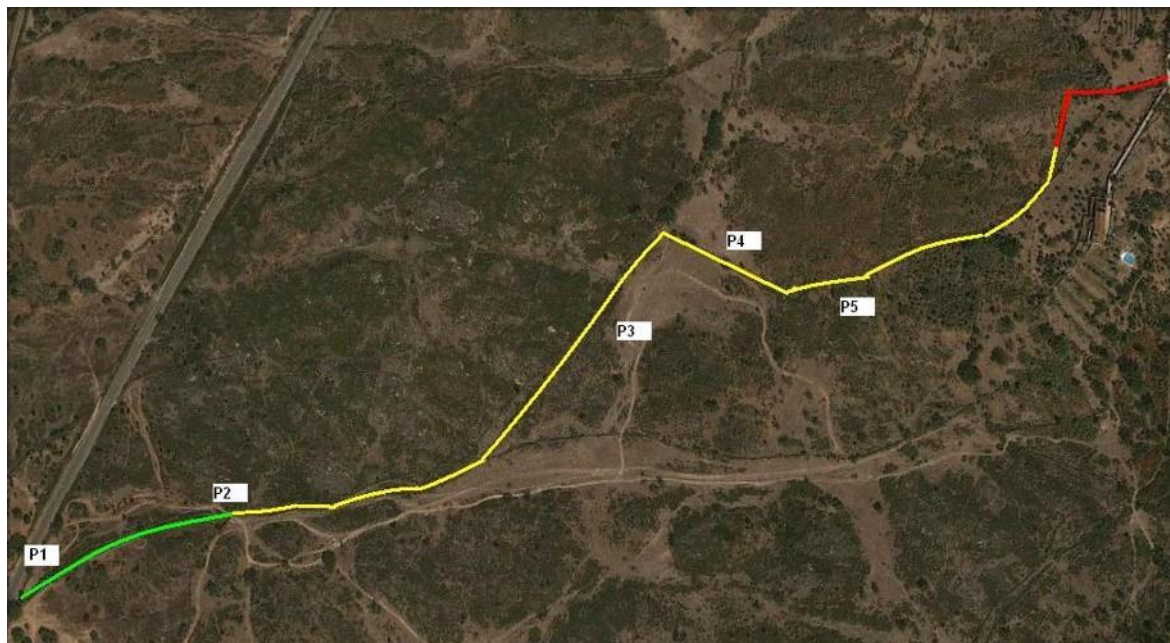


Figura 4.5: Localização da estrada construída.

#### 4.3.2 Terreno

Antes da intervenção do RE1, este era apenas um caminho pedonal e extremamente estreito. Com uma cota bastante inferior à dos terrenos vizinhos era necessário o seu nivelamento. O terreno onde foi aberta a estrada é arenoso, composto por saibro e com bastantes afloramentos de granito em determinadas zonas.

#### 4.3.3 Trabalhos efetuados

Os trabalhos realizados pelo RE1 foram desmatização, alargamento, regularização, nivelamento, execução de valetas e sistemas de drenagem.

Os trabalhos foram divididos essencialmente em duas fases. A primeira fase, nos primeiros 700 m, o caminho era bastante fundo em relação aos terrenos à volta e continha algumas rochas. Foram retirados apenas os afloramentos rochosos mais salientes e com o objetivo de nivelar o terreno foi colocada uma camada de cerca de 50 cm de material de aterro. Depois de compactada e seca, foi colocada uma camada de pedra britada, com uma dimensão relativamente grande e com uma espessura mínima de 20 cm, vulgarmente conhecida por rachão. Como camada de desgaste e com o objetivo de preenchimento de vazios e nivelamento do caminho foi por fim colocada uma camada de saibro com uma espessura mínima de 10 a 15 cm.

A segunda fase dos trabalhos foi realizada nos últimos 800 m da estrada construída. Esta parte do caminho era consideravelmente mais estreita e continha muros separadores do caminho já existentes no terreno, que foram necessariamente retirados com o alargamento do mesmo. O número de afloramentos rochosos era bastante mais elevado nesta zona, pelo que optaram por remover

apenas alguns e obter apoio da entidade camarária para com a ajuda de explosivos destruir os afloramentos que não foram removidos do local. Após o desmonte, foi necessário o preenchimento dos espaços vazios com material de aterro retirado da zona, uma camada de 20 cm de pedra britada e terminar com a camada de desgaste de 10 a 15 cm de saibro.

Foi efetuado um correto sistema de drenagem com as respetivas passagens hidráulicas onde seria necessário bem como com valas para o direcionamento da água. Nas figuras: Figura 4.6, Figura 4.7, Figura 4.8 e Figura 4.9 podemos encontrar imagens dos trabalhos efetuados.



Figura 4.6: Afloramentos rochosos encontrados no terreno.



Figura 4.7: Trabalhos efetuados no terreno.



Figura 4.8: Muros de pedra existentes antes da intervenção do RE1.



Figura 4.9: Construção da estrada.

Para uma melhor verificação dos trabalhos realizados pode-se encontrar na Figura 4.10 um esquema das camadas realizadas no pavimento em estudo.

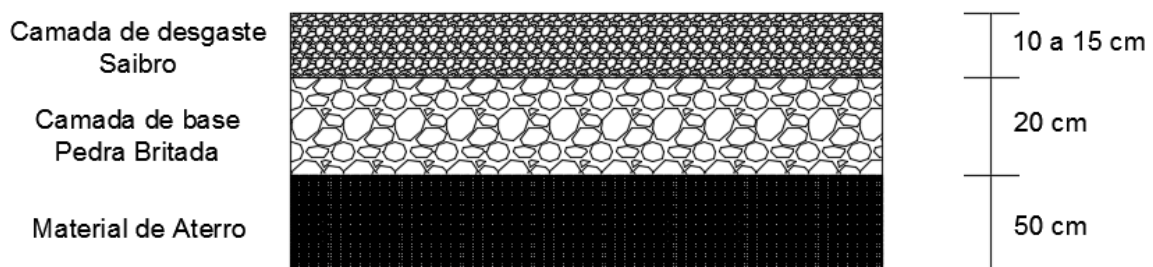


Figura 4.10: Representação esquemática do pavimento em estudo.

#### **4.3.4 Análise do caso de estudo**

##### **Classificação**

Começando pela análise da utilização da estrada, esta será inserida numa das classificações anteriormente propostas de modo a garantir a escolha de uma melhor solução de pavimentação. Não existindo estudos efetuados sobre a sua utilização, será então efetuada uma análise qualitativa e superficial dos propósitos para os quais a estrada foi construída. Sabendo que a estrada dá acesso a zonas de mata por carros de bombeiros, será necessário garantir um tipo de pavimentação adequado a veículos pesados, ainda que esta utilização seja apenas periódica, garantindo-se uma classificação mínima de U3. Considerando também o outro motivo de utilização da estrada podemos admitir que, dada a dimensão da mesma, o número de veículos que a utilização do seria muito elevado. Pode-se assim considerar que o intervalo de TMDA 20-100 com 10% de veículos de classe igual ou superior a 4 (pesados) é suficiente para comportar a utilização da estrada construída. Concluimos assim que podemos classificar a estrada referente ao caso de estudo na classificação U3 da Austroads.

##### **Estrutura**

Iniciando mais uma vez uma comparação qualitativa do caso de estudo com o catálogo apresentado no capítulo 4.2, classificação U3, verifica-se que tal como na classificação, o número de camadas utilizadas foram duas. Comparando as espessuras das respetivas camadas tem-se que na camada de desgaste do caso de estudo foi utilizada uma espessura de 10 a 15 cm tal como na classificação U3 em que se obteve uma espessura mínima de 10 cm. Em relação à segunda camada, a classificação teórica sugere uma espessura mínima de 15 cm e no caso de estudo foi utilizada uma camada de 20 cm.

Como pode ser verificado, não foram referidos anteriormente os valores necessários para o dimensionamento da estrada visto que esse tipo de estudo não foi efetuado. Segundo EP (2009b) podemos verificar que no Quadro 1<sup>2</sup>, e admitindo por defeito o valor mais baixo de CBR para uma areia consegue estipular-se um intervalo de CBR entre 10 e 20. Não conhecendo o valor de ESA, mas obtendo também um valor conservativo, ou seja, de  $5 \times 10^5$  ESA consegue-se através do gráfico na Figura 3.1 obter uma espessura mínima de camada de 15 cm. Este processo deveria ser repetido para todas as camadas que constituem o pavimento.

Como referido anteriormente é necessário dar primazia aos materiais existentes na zona local, pelo que a utilização do material de aterro local para o preenchimento e nivelamento da zona de afloramentos rochosos foi uma escolha acertada em relação aos princípios já estabelecidos.

#### **4.3.5 Recomendações a efetuar**

Em primeiro lugar, e referenciando o número e a espessura das camadas, é possível dizer que um estudo mais pormenorizado da utilização da estrada poderia levar a uma melhor avaliação da espessura de cada camada de modo a existir uma poupança de material utilizado na sua construção. Pois como se verifica no subcapítulo anterior a camada de sub-base tem uma espessura de 20 cm

---

<sup>2</sup> Ver Anexo B

enquanto a análise teórica afirma que esta poderia ter um mínimo de 15 cm. Este estudo poderia levar à poupança de 5 cm em altura, que se traduziria num grande volume de material e conseqüentemente uma poupança nos custos. Poderia ter sido efetuado um estudo também do terreno de fundação, visto que este também influencia a espessura das camadas. Através do processo de dimensionamento se obteve a dimensão de 15 cm de uma camada, podendo também ser efetuada uma análise mais detalhada da espessura das várias camadas.

A drenagem do pavimento foi efetuada tal como indica a teoria analisada, de uma forma superficial através das passagens hidráulicas e valas de modo a direcionar a água.

É de referir também que devemos se deve uma manutenção constante de modo a garantir o seu bom funcionamento e bom desempenho durante um longo período de vida.



## **5 Conclusões e Desenvolvimentos Futuros**

### **5.1 Conclusões**

Esta dissertação teve como objetivo de encontrar um conjunto de soluções para uma dada classificação de estradas de modo a utilizar o mesmo para uma comparação e avaliação com um caso de estudo prático. É de salientar o tema de grande importância, não só pela necessidade deste tipo de estradas para o desenvolvimento do país mas também para o Exército visto este ser uma das entidades que constrói este tipo de estradas

Com a realização da dissertação conclui-se a análise necessária ao dimensionamento e construção de uma estrada bem como a diversidade de materiais, tipos de pavimentos e modos de manutenção e conservação existentes.

A falta de elementos de dimensionamento foi ultrapassada com algumas considerações simples de modo a ser possível utilizar o método de dimensionamento descrito. A estrada foi classificada como uma estrada U3 devido aos vários motivos para a qual foi construída.

Após a análise efetuada tanto da parte teórica como do caso de estudo, foi possível concluir que teria existido a possibilidade de uma poupança na espessura das camadas contruídas caso existisse um estudo mais pormenorizado da utilização da estrada e também do terreno de fundação. É importante salientar o uso dos materiais adequados e disponíveis nas proximidades da construção colocando assim em prática um dos mais importantes princípios da construção das estradas de baixo tráfego.

A criação deste tipo de catálogos e a realização deste tipo de estudos é muito importante quando o objetivo é encontrar uma boa relação de custo eficiência deste tipo de estradas. Querendo sempre garantir a sua máxima utilização e duração de modo a que esta possa servir as necessidades mais básicas de uma população.

### **5.2 Desenvolvimentos futuros**

Como desenvolvimentos futuros apresentam-se de seguida algumas recomendações.

Pode ser efetuado, pelo Exército ou pela entidade responsável pela construção da estrada de baixo tráfego, um estudo detalhado da sua utilização de modo a uma melhor gestão dos recursos utilizados na construção da mesma. Neste estudo pode ser incorporado a classe da estrada e do tráfego de modo a pré-estabelecer uma solução.

Como o clima varia ao longo do país, e a utilização destas estradas é bastante importante para algumas populações, poderia ser efetuada a preparação de um catálogo de pavimentos de modo a identificar o mais adequado às zonas previamente definidas (em função do clima e dos materiais habitualmente disponíveis).



## Referências Bibliográficas

- AASHTO (2001). Guidelines for geometric design of very low-volume local roads. AASHTO, American Association of State Highway & Transportation Officials. ISBN Number: 978-1-56051-166-3 Washington, DC.
- Austroroads (2009a). Guide to Pavement Technology - Part 6: Unsealed pavements. Sydney, Australia.
- Austroroads (2009b). "Guide to Pavement Technology - Part 1: Introduction to Pavement Technology". Sydney, Australia.
- Branco F., Pereira P., Picado -Santos L. (2006). " Pavimentos Rodoviários". Almedina, Coimbra.
- Branco F., Picado -Santos L., Capitão S. D. (1996). "Vias de Comunicação - Volume 1". Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Branco F., Santos L. P., Capitão S. D. (1998). "Vias de Comunicação - Volume 2". Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Brito, L. A. T. (2011). "Design Methods for Low Volume Roads". Thesis submitted to the University of Nottingham. Department of Civil Engineering. The University of Nottingham.
- CEPSA (2010). "Manual de Pavimentação: Capítulo 3 - Dimensionamento de Pavimentos". CAEPSA. Madrid
- Brito, L.A.T., Graeff, A.G. (2009). "Métodos de Dimensionamento de Pavimentos – Metodologias e seus Impactos nos Projetos de Pavimentos Novos e Restaurações". Concessionária da Rodovia Osório-Porto Alegre – CONCEP.
- CEPSA (2010). "Manual de Pavimentação: Capítulo 3 - Dimensionamento de Pavimentos". CAEPSA. Madrid.
- Cook J. R., Petts R. C., Rolt J. (2013). "Low Volume Rural Road Surfacing and Pavements: A Guide to a Good Practice". Africa Community Access Programme (AFCAP).
- Costa A., Macedo J. (2008). "Engenharia de Tráfego: Conceitos Básicos". Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, Porto.
- EP (2009a). "Caderno de Encargos Tipo Obra - Terraplenagem: Métodos Construtivos". Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias, Lisboa.
- E.P. (2009b). "Caderno de Encargos Tipo Obra - Terraplenagem. Características dos Materiais". Estradas de Portugal. Lisboa
- EP (2014). "Caderno de Encargos Tipo Obra – Pavimentação". Estradas de Portugal. Lisboa
- ERA (2011). "Design Manual For Low Volume Roads, Part A, Part B and Part C". Ethiopian Roads Authority, Federal Democratic Republic of Ethiopia.

- Figueiredo N. (2011). "Avaliação e Conservação de Pavimentos Rodoviários Municipais com Baixo Tráfego - Contribuição para uma Metodologia de Apoio". Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra
- Ferreira J. (2009). "Aplicação de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em Camadas de Sub-base Não Ligadas de Estradas de Baixo Tráfego". Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Fortunato, E., Alves, E., Antunes, M. L., Freire, A. C. (2013). "Curso de Estradas de Baixo Volume de Tráfego". LNEC, Lisboa.
- Gourley, C. S., Greening, P. A. K. (1999). "Performance of Low-volume Sealed Roads: Results and Recommendations from Studies in Southern Africa". TRL Published Report PR/OSC/167/99. Crowthorne.
- Hein D., Croteau J-M. (2004). "The Impact of Preventive Maintenance Programs on the Condition of Roadway Networks". 2004 Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Québec.
- Henning T. F. P., Giummarra G. J., Roux D. C. (2008). "The development of gravel deterioration models for adoption in a New Zealand gravel road management system". Land Transport New Zealand. Research Report 348. New Zealand.
- InIR (2010). "Norma de Traçado: Revisão". Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias, Lisboa.
- InIR (s.d.). "Diretivas para a Conceção de Pavimentos". Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias (<http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/InfraestruturasRodoviaras/InovacaoNormalizacao/Divulgao%20Tcnica/DiretivasConstrucaoPavimentosCritériosDimensionamento.pdf>), Lisboa.
- JAE (1995). "Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional". Junta Autónoma de Estradas, Lisboa.
- Jorge L. (2014). "Constituição, Dimensionamento e Conservação de Pavimentos para Baixos Volumes de Tráfego". Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.
- Jorge L., Capitão S., Picado-Santos L., (2016). " Dimensionamento de Pavimentos de Estradas de Baixo Tráfego: Estudo Comparativo". 8º Congresso Rodoviário Português, Lisboa.
- MAI (2005). "Maintenance Manual For Low Cost Rural Roads In Romania". Ministry of Administration and Interior, Roménia.
- MTPW (2013a). "Design Manual For Low Volume Sealed Roads". Ministry of Transport and Public Works, Republic of Malawi.
- MTPW (2013b). "Design Manual For Low Volume Sealed Roads Using the DCP Design Method". Ministry of Transport and Public Works, Republic of Malawi.
- Peixoto R. A. R. S. (2014). "Avaliação de metodologias de dimensionamento de pavimentos de baixo volume de tráfego muito pesado". Escola de Engenharia. Universidade do Minho. Braga.

- Pereira P., Valverde M. (1999). "Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários". Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Braga
- Santos J. (2010). "Materiais Utilizados na Construção de Pavimentos Rodoviários". Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro.
- SATCC (2003). "SADC Guideline on Low-volume Sealed Roads". Southern Africa Transport and Communications Commission.
- T. T. (2014). "The Design and Use of the Structural Pavement of Unsealed Roads". Timber Transport Forum, United Kingdom.
- U.S.D.T. (1996). "Pavement Maintenance Effectiveness: Preventive Maintenance Treatments." U.S. Department of Transport, United States of America















# Anexos



**Anexo A – Classificação dos veículos segundo a Austroads.**



## AUSTROADS Vehicle Classification System

Level 1	Level 2		Level 3	AUSTROADS Classification		
Length (indicative)	Axles and Axle Groups		Vehicle Type			
Type	Axles	Groups	Typical Description	Class	Parameters	Typical Configuration
<b>LIGHT VEHICLES</b>						
Short up to 5.5m		1 or 2	<b>Short</b> Sedan, Wagon, 4WD, Utility, Light Van, Bicycle, Motorcycle, etc	1	$d(1) \leq 3.2\text{m}$ and axles = 2	
Medium 5.5m to 14.5m	3, 4 or 5	3	<b>Short - Towing</b> Trailer, Caravan, Boat, etc	2	groups = 3 $d(1) \geq 2.1\text{m}$ , $d(1) \leq 3.2\text{m}$ , $d(2) \geq 2.1\text{m}$ and axles = 3, 4 or 5	
	<b>HEAVY VEHICLES</b>					
	2	2	<b>Two Axle Truck or Bus</b>	3	$d(1) > 3.2\text{m}$ and axles = 2	
	3	2	<b>Three Axle Truck or Bus</b>	4	axles = 3 and groups = 2	
	> 3	2	<b>Four Axle Truck</b>	5	axles > 3 and groups = 2	
Long 11.5m to 19.0m	3	3	<b>Three Axle Articulated</b> Three axle articulated vehicle, or Rigid vehicle and trailer	6	$d(1) > 3.2\text{m}$ , axles = 3 and groups = 3	
	4	> 2	<b>Four Axle Articulated</b> Four axle articulated vehicle, or Rigid vehicle and trailer	7	$d(2) < 2.1\text{m}$ or $d(1) < 2.1\text{m}$ or $d(1) > 3.2\text{m}$ axles = 4 and groups > 2	
	5	> 2	<b>Five Axle Articulated</b> Five axle articulated vehicle, or Rigid vehicle and trailer	8	$d(2) < 2.1\text{m}$ or $d(1) < 2.1\text{m}$ or $d(1) > 3.2\text{m}$ axles = 5 and groups > 2	
	≥ 6	> 2	<b>Six Axle Articulated</b> Six axle articulated vehicle, or Rigid vehicle and trailer	9	axles = 6 and groups > 2 or axles > 6 and groups = 3	
Medium Combination 17.5m to 36.5m	> 6	4	<b>B Double</b> B Double, or Heavy truck and trailer	10	groups = 4 and axles > 6	
	> 6	5 or 6	<b>Double Road Train</b> Double road train, or Medium articulated vehicle and one dog trailer (M.A.D.)	11	groups = 5 or 6 and axles > 6	
Large Combination Over 33.0m	> 6	> 6	<b>Triple Road Train</b> Triple road train, or Heavy truck and three trailers	12	groups > 6 and axles > 6	

**Definitions:** Group: Axle group, where adjacent axles are less than 2.1m apart  
 Groups: Number of axle groups  
 Axles: Number of axles (maximum axle spacing of 10.0m)

$d(1)$ : Distance between first and second axle  
 $d(2)$ : Distance between second and third axle



**Anexo B – Quadro 1 – Regras Gerais baseadas na Classificação Unificada de Solos (EP, 2009b)**

**Quadro 1**

Classe	CBR (%)	Tipo de solo	Descrição	Reutilização		
				PIA	Corpo	PSA
<b>S 0</b>	< 3	OL	siltos orgânicos e siltos argilosos orgânicos de baixa plasticidade (1)	N	N	N
		OH	argilas orgânicas de plasticidade média a elevada; siltos orgânicos. (2)	N	P	N
		CH	argilas inorgânicas de plasticidade elevada; argilas gordas. (3)	N	P	N
		MH	siltos inorgânicos; areias finas micáceas; siltos micáceos. (4)	N	P	N
<b>S 1</b>	≥ 3 a < 5	OL	idem (1)	N	S	N
		OH	idem (2)	N	S	N
		CH	idem (3)	N	S	N
		MH	idem (4)	N	S	N
<b>S 2</b>	≥ 5 a < 10	CH	idem (3)	N	S	N
		MH	idem (4)	N	S	N
		CL	argilas inorgânicas de plasticidade baixa a média argilas com seixo, argilas arenosas, argilas siltosas e argilas magras.	S	S	P
		ML	siltos inorgânicos e areias muito finas; areias finas, siltosas ou argilosas; siltos argilosos de baixa plasticidade.	S	S	P
		SC	areia argilosa; areia argilosa com cascalho. (5)	S	S	P
<b>S 3</b>	≥ 10 a < 20	SC	idem (5)	S	S	S
		SM-d SM-u	areia siltosa; areia siltosa.	S P	S S	S N
		SP	areias mal graduadas; areias mal graduadas com cascalho.	S	S	S
<b>S 4</b>	≥ 20 a < 40	SW	areias bem graduadas; areias bem graduadas com cascalho.	S	S	S
		GC	cascalho argiloso; cascalho argiloso com areia.	S	S	S
		GM-u	cascalho siltoso; cascalho siltoso com areia. (6)	P	S	P
		GP	cascalho mal graduado; cascalho mal graduado com areia. (7)	S	S	S
<b>S 5</b>	≥ 40	GM-d	idem (6)	S	S	S
		GP	idem (7)	S	S	S
		GW	cascalho bem graduado; cascalho bem graduado com areia.	S	S	S

**S - admissível; N - não admissível ; P-possível.**

**PIA - parte inferior do aterro**

**PSA - parte superior do aterro**