



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Influência da temperatura e da energia de compactação nos parâmetros obtidos em ensaios no âmbito da Marcação CE de Misturas Betuminosas

Ricardo Jorge Serra Pinto Morais



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Influência da temperatura e da energia de compactação nos parâmetros obtidos em ensaios no âmbito na Marcação CE de Misturas Betuminosas

Ricardo Jorge Serra Pinto Morais

1020491

Projecto apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, realizada sob a orientação do Eng^o Jorge Ribeiro Santos, Eng^o Coordenador do Laboratório Central da Mota-Engil Engenharia & Construção, S.A., e do Professor Doutor José Augusto Abreu Peixoto Fernandes, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.

Júri

Presidente

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé
Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes
Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre Jorge Filipe Ribeiro dos Santos
Coordenador do Laboratório Central da Mota-Engil: Engenharia e Construção, SA

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor José António Ganilho Lopes Velho
Professor Associado com Agregação, Universidade de Aveiro

Agradecimentos

São devidos agradecimentos a todas as pessoas e entidades que contribuíram, das mais diversas formas, para a realização deste projecto.

- Ao Engenheiro Jorge Santos, orientador desta tese e Coordenador do Laboratório Central da Mota-Engil Engenharia e Construção, S.A, agradeço a disponibilidade dada na realização deste trabalho.
- Ao Professor Doutor José Augusto Abreu Peixoto Fernandes, Corientador desta tese e Professor coordenador do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP, pelo apoio e disponibilidade.

À empresa Mota-Engil Engenharia e Construções, S.A. que concedeu os meios para a execução dos ensaios laboratoriais. Agradeço em particular:

- Ao Engenheiro Carlos Mota Santos e ao Engenheiro Pedro Januário por terem facultado todas as condições necessárias à execução deste trabalho.
- À Engenheira Carla Sousa e à Engenheira Sónia Pizarro pela disponibilidade e ajuda na execução da tese.
- Aos técnicos, em especial ao responsável do laboratório Sr.º Alfredo Cunha, pela disponibilidade e apoio dado durante este trabalho.

Agradeço muito à minha família em particular pais e irmão pelo apoio, ajuda e carinho que me deram ao longo deste trabalho.

Palavras-chave

Mistura betuminosa densa, Temperatura, Energia de compactação, Marcação CE de misturas betuminosas, Agregado

Resumo

Em Portugal, grande parte da rede rodoviária é constituída por pavimentos flexíveis a quente, os quais têm vindo a ser alvo de um estudo exaustivo devido ao elevado aumento do tráfego registado nos últimos anos.

Todos os estudos realizados em misturas betuminosas, após 1 de Março de 2008, utilizam as normativas da marcação CE, estabelecidas pela União Europeia no Âmbito da Directiva Comunitária nº 93/465/CEE e têm como objectivo garantir aos utentes que os materiais utilizados foram produzidos de forma controlada, de acordo com os requisitos definidos.

Este trabalho teve como principal objectivo avaliar a influência da temperatura e da energia de compactação nas Misturas Betuminosas. Nesse intuito, estudaram-se diferentes formulações das Misturas Betuminosas, nas quais se fez variar a temperatura e a energia de compactação.

Neste trabalho apresentam-se as formulações propostas, os ensaios realizados segundo a Marcação CE e a análise dos resultados obtidos. Executou-se, também, o ensaio Marshall de forma a estudar e avaliar o desempenho da mistura.

Pressupõe-se que a variação da temperatura numa mistura betuminosa é bastante importante por ser responsável pelo comportamento dos betumes, o qual se reflecte na mistura originando variações no respectivo comportamento mecânico que serão tanto maiores quanto maior for a percentagem de betume da mesma.

A energia de compactação tem como objectivo reduzir o índice de vazios da mistura através do rearranjo das partículas, originando desse modo uma diminuição da camada da mistura betuminosa, responsável pela melhoria do comportamento mecânico e funcional da camada.

Keywords

Dense bituminous mixtures, Temperature, Compaction energy, CE, Aggregate

Abstract

In Portugal most of the road network consists of flexible pavements which have been object of an exhaustive study due to the increase in traffic registered in the last years.

All studies on asphalt mixtures after 1 March 2008, uses CE mark, set by the European Union under the European Directive No. 93/465 and aim to guarantee consumers that the materials used were produced in a controlled manner, in accordance with the requirements.

The present work had as main objective the assessment of the influence of temperature and compaction in asphalt mixtures. Thus, we studied different formulations of asphalt mixtures, in which was varied the temperature and compaction energy. It is presented the formulations proposed, the tests performed under CE marking and analysis of results. Marshall Test was also performed in order to study and evaluate the performance of the mixture.

It is assumed that the temperature variation in asphalt is very important because it accounts for the behavior of bitumen, which is reflected in the mix causing variations in their mechanical behavior which are greater the higher the percentage of bitumen in it.

The energy of compaction aims to reduce the voids of the mixture through the rearrangement of the particles, thereby resulting in a decrease in the asphalt layer, responsible for improving the mechanical and functional behavior.

Índice

1	Introdução	2
1.1	Enquadramento geral.....	2
1.2	Objectivos do trabalho	3
2	Pavimentos Rodoviários.....	6
2.1	Tipo de Pavimentos.....	6
2.1.1	Pavimentos Flexíveis	8
2.1.2	Pavimentos Semi – Rígidos.....	11
2.1.3	Pavimentos Rígidos	12
2.2	Estrutura Constituinte de Pavimentos Rodoviários	13
2.2.1	Camada de Fundação	14
2.2.2	Camada de Sub – Base	14
2.2.3	Camada de Base	14
2.2.4	Camada de Desgaste	14
3	Misturas Betuminosas.....	16
3.1	Tipos de Misturas Betuminosas	16
3.2	Características gerais das Misturas Betuminosas	18
3.2.1	Estabilidade	19
3.2.2	Durabilidade	19
3.2.3	Flexibilidade	20
3.2.4	Resistência à Fadiga	20
3.2.5	Aderência	20
3.2.6	Impermeabilidade	21
3.2.7	Trabalhabilidade.....	21
3.3	Materiais constituintes das misturas betuminosas	21
3.3.1	Agregados.....	21
3.3.1.1	Requisitos para os agregados grossos e finos	23
3.3.1.2	Requisitos para o fíler.....	36
3.3.2	Betume	40
3.3.2.1	Composição, Estrutura, Reologia e Caracterização do Ligante Betuminoso	40
3.3.3	Cal Hidráulica.....	42
3.3.3.1	Normalização da Cal.....	42
4	Marcação CE das Misturas Betuminosas	46

4.1	Introdução	46
4.2	Requisitos das misturas betuminosas na marcação CE	47
4.3	Normas para Misturas Betuminosas	51
4.3.1	Normas de especificações de Misturas Betuminosas	51
4.3.2	Normas de especificação e ensaios para Betumes e Ligantes Betuminosos	54
4.3.3	Normas de especificações e ensaios para Agregados	57
4.3.4	Norma de ensaio inicial tipo	60
4.3.5	Norma para controlo de produção	60
4.3.6	Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente	61
4.3.7	Norma de ensaio para classificação ao fogo	83
5	Estudo de Formulação de uma Mistura Betuminosa	86
5.1	Metodologia	86
5.2	Estudo de formulação da Mistura Betuminosa Densa	88
6	Estudo Experimental	98
6.1	Enquadramento	98
6.2	Metodologia	98
6.3	Execução de ensaios	101
7	Apresentação de Resultados	110
8	Conclusões	122
	Bibliografia	126
	Anexos – Boletins de ensaio	131

Índice de Figuras

Figura 1 – Pavimento rodoviário: acções e solicitações (Santos, 2002)	7
Figura 2 – Constituição de um Pavimento Flexível (LNEC, 2005)	9
Figura 3 – Pavimento flexível de base granular (Picado-Santos, 2002).....	10
Figura 4 – Pavimento flexível de base betuminosa (Picado-Santos, 2002)	10
Figura 5 – Constituição de um Pavimento Semi – rígido (LNEC, 2005)	11
Figura 6 – Constituição de um Pavimento Rígido (LNEC, 2005)	13
Figura 7 – Estrutura Constituinte de um pavimento rodoviário adaptado de (Specht, 2005)	13
Figura 8 – Composição das misturas betuminosas (JAE, 1995).....	18
Figura 9 – Execução da camada de revestimento (Jalali, 2009)	43
Figura 10 – Grafismo da marca CE de conformidade, (adaptado: (Sousa, 2009)).....	46
Figura 11 – Fuso granulométrico da curva da mistura	89
Figura 12 – Apresentação dos gráficos do estudo Marshall.....	93
Figura 13 – Esquartelamento dos agregados	99
Figura 14 – Misturadora dos materiais (agregados, betume e cal).....	99
Figura 15 – Mistura betuminosa para ensaio	100
Figura 16 – Preparação e compactação mecânica dos provetes.....	100
Figura 17 – Desmoldagem dos provetes	101
Figura 18 – Pesagem amostra dentro do picnómetro dentro de água	103
Figura 19 – Retirar o ar aplicando vácuo e tapar o picnómetro com uma tampa sem deixar entrar o ar	103
Figura 20 – Medições dos provetes.....	104
Figura 21 – Determinar o peso do provete dentro de água e determinar o peso ao ar	105
Figura 22 – Retirar o ar dos provetes aplicando vácuo e determinar a resistência à tracção indirecta	106
Figura 23 – Ensaio Marshall, determinação da tensão de rotura e deformação	107
Figura 24 – Evolução das baridades máximas teóricas vs variação de temperatura	110
Figura 25 – Evolução da sensibilidade à água em função da temperatura	111
Figura 26 – Evolução da sensibilidade à água vs número de pancadas.....	112
Figura 27 – Evolução das baridades de provetes vs variação de temperatura	113
Figura 28 – Evolução das baridades de provetes vs número de pancadas	114
Figura 29 – Evolução dos volumes de vazios vs variação de temperatura.....	115
Figura 30 – Evolução dos volumes de vazios em função do número de pancadas	116
Figura 31 – Evolução da tensão de rotura vs variação de temperatura.....	117
Figura 32 – Evolução da deformação em função da temperatura	118
Figura 33 – Evolução da tensão de rotura vs número de pancadas.....	119
Figura 34 – Evolução da deformação vs número de pancadas	119

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Famílias e tipos de degradações adaptado de (Santos, 2002)	8
Tabela 2 – Quadro das Principais Camadas e tipos de Misturas Betuminosas (adaptado: NP EN 13108:2008)	16
Tabela 3 – Aberturas dos peneiros para especificar as dimensões dos agregados (EN 13043: 2004)	24
Tabela 4 – Requisitos gerais para a granulometria (EN 13043: 2004).....	25
Tabela 5 – Limites gerais e tolerâncias da granulometria do agregado grosso para o peneiro intermédio (EN 13043: 2004)	26
Tabela 6 – Tolerâncias da granulometria típica declarada do produtor do agregado fino e do agregado de granulometria extensa 0/D com $D \leq 8$ mm (EN 13043: 2004)	26
Tabela 7 – Categorias para os valores máximos do teor de finos (EN 13043: 2004)	27
Tabela 8 – Categorias para os valores máximos do azul-de-metileno (MB_F) (EN 13043: 2004)	27
Tabela 9 – Categorias para os valores máximos do índice de achatamento (EN 13043: 2004)	28
Tabela 10 – Categorias para os valores máximos do índice de forma (EN 13043: 2004).....	28
Tabela 11 – Categorias para a percentagem de partículas esmagadas e partidas (incluindo a percentagem de partículas totalmente esmagadas e de partículas totalmente roladas) (EN 13043: 2004)	29
Tabela 12 – Categorias para a angulosidade dos agregados finos (EN 13043: 2004)	29
Tabela 13 – Categorias para os valores máximos do coeficiente Los Angeles (EN 13043: 2004)	30
Tabela 14 – Categorias para os valores máximos da resistência à fragmentação por impacto (EN 13043: 2004).....	31
Tabela 15 – Categorias para os valores mínimos da resistência ao polimento (EN 13043: 2004)	31
Tabela 16 – Categorias para os valores máximos da resistência à abrasão (EN 13043: 2004)	31
Tabela 17 – Categorias para os valores máximos da resistência ao desgaste por atrito (EN 13043: 2004)....	32
Tabela 18 – Categorias para os valores máximos da resistência à abrasão provocada por pneus pitonados (EN 13043:2004).....	32
Tabela 19 – Categorias para os valores máximos da absorção de água (EN 1097-6:2000).....	33
Tabela 20 – Categorias para os valores máximos de absorção de água (EN 13043: 2004).....	33
Tabela 21 – Categorias para os valores máximos da resistência ao sulfato de magnésio (EN 13043: 2004)..	33
Tabela 22 – Categorias para os valores máximos da resistência ao sulfato de magnésio (EN 13043: 2004)..	34
Tabela 23 – Categorias para os valores máximos de resistência ao “Sonnenbrand” (EN 13043: 2004)	34
Tabela 24 – Categorias para os valores máximos do teor em contaminantes orgânicos leves (EN 13043: 2004).....	35
Tabela 25 – Categorias para os valores máximos da expansão do agregado de escória de aciaria (EN 13043: 2004).....	36
Tabela 26 – Requisitos da granulometria para o fíler comercial (EN 13043: 2004)	36
Tabela 27 – Categorias para os vazios do fíler seco compactado (EN 13043: 2004).....	37
Tabela 28 – Categorias para a variação da temperatura anel e bola do fíler (EN 13043: 2004).....	37

Tabela 29 – Categorias para valores máximos da solubilidade em água (EN 13043: 2004).....	38
Tabela 30 – Categorias para os valores mínimos do teor de carbonato de cálcio (EN 13043: 2004)	38
Tabela 31 – Categorias para os valores mínimos do teor de hidróxido de cálcio (EN 13043: 2004).....	39
Tabela 32 – Requisitos do “número do betume” do filer comercial (EN 13043: 2004)	39
Tabela 33 – Fusos granulométricos para várias misturas betuminosas (adaptado: EN 13108: 2008).....	48
Tabela 34 – Percentagens de betume para as várias misturas betuminosas adaptado de (NP EN 13108: 2008).....	49
Tabela 35 – Requisitos das misturas betuminosas adaptado de (NP EN 13108: 2008)	50
Tabela 36 – Normas de especificações de Misturas Betuminosas	52
Tabela 37 – Normas de especificação e ensaios para Betumes e Ligantes Betuminosos	54
Tabela 38 – Normas de especificações e ensaios para Agregados.....	57
Tabela 39 – Norma de ensaio inicial tipo	60
Tabela 40 – Norma para controlo de produção	60
Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente	61
Tabela 42 – Norma de ensaio para classificação ao fogo.....	83
Tabela 43 – Tipo de ensaios a realizar para os vários materiais.....	86
Tabela 44 – Análise granulométrica dos agregados.....	88
Tabela 45 – Fuso granulométrico imposto pelo caderno d encargos	88
Tabela 46 – Percentagens da composição dos vários materiais	89
Tabela 47 – Resultados dos ensaios realizados aos agregados	89
Tabela 48 – Verificação da conformidade dos requisitos impostos no caderno de encargos para os agregados	90
Tabela 49 – Análise granolumétrica da cal.....	90
Tabela 50 – Resultados dos ensaios realizados.....	91
Tabela 51 – Resultados dos ensaios realizados no ligante (betume 35/50).....	91
Tabela 52 – Várias características para as diferentes percentagens de betume	92
Tabela 53 – Resistência conservada.....	94
Tabela 54 – Especificações do caderno de encargos relativo às características da mistura betuminosa	95
Tabela 55 – Percentagens da mistura betuminosa	95
Tabela 56 – Resultados das baridades máximas teóricas vs variação de temperatura.....	110
Tabela 57 – Resultados da sensibilidade à água variando a temperatura óptima	111
Tabela 58 – Resultados da sensibilidade à água vs número de pancadas.....	112
Tabela 59 – Resultados das baridades de provetes vs variação de temperatura	113
Tabela 60 – Resultados das baridades de provetes vs número de pancadas	114
Tabela 61 – Resultados dos volumes de vazios vs variação de temperatura	115
Tabela 62 – Resultados dos volumes de vazios vs variação número de pancadas.....	116
Tabela 63 – Resultados do ensaio marshall vs variação de temperatura	117
Tabela 64 – Resultados do ensaio Marshall vs número de pancadas	118

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1 Introdução

1.1 Enquadramento geral

O desenvolvimento e a necessidade de melhorar o desempenho das vias de comunicação dependem das infra-estruturas das redes rodoviárias. Em Portugal, as redes rodoviárias assumem um papel fundamental no desenvolvimento do país e constituem o principal meio de comunicação.

A partir da década de 80 a rede rodoviária nacional começou a sofrer uma grande transformação com o objectivo de melhorar e modernizar as vias de comunicação.

Nos anos 90 surgiram as misturas betuminosas com ligantes modificados. Estas misturas utilizadas na rede rodoviária nacional têm o objectivo de melhorar as características dos pavimentos e também melhorar as técnicas de reciclagem de misturas betuminosas.

De acordo com o Plano Rodoviário Nacional 2000 (PRN 2000), a construção de novas estradas continua a efectuar-se de modo que a rede rodoviária Portuguesa venha a ter uma qualidade equivalente à dos países mais desenvolvidos da Europa.

A principal função de um pavimento rodoviário é oferecer uma superfície de rolamento livre e desempenada, destinada a permitir a circulação de veículos em adequadas condições de segurança, conforto e economia (Gomes, 2005).

Os pavimentos rodoviários de acordo com o seu funcionamento estrutural e materiais constituintes classificam-se em: i) pavimentos flexíveis, ii) pavimentos semi-rígidos e iii) pavimentos rígidos, sendo que uma grande parte da rede rodoviária portuguesa é constituída por pavimentos flexíveis.

Uma das exigências das misturas betuminosas consiste na caracterização dos agregados e dos ligantes betuminosos, os quais, devem possuir características apropriadas de acordo com cada tipo de mistura betuminosa.

Para melhorar o desempenho estrutural e a qualidade funcional dos pavimentos é necessário estudar a sua constituição e comportamento em relação aos principais mecanismos, de forma a evitar um processo de degradação sob a acção do tráfego e das condições atmosféricas.

As misturas betuminosas são constituídas por agregados e betume. As suas propriedades mecânicas dependem das quantidades destes componentes e das suas características. A composição de uma mistura betuminosa é normalmente estabelecida com base num estudo de formulação, através do qual se definem os componentes a utilizar na mistura e as suas proporções de acordo com as especificações dos cadernos de encargos.

A marcação CE, estabelecida pela União Europeia no âmbito da Directiva Comunitária nº 93/465/CEE, é abordada nesta tese, pois o recurso e a utilização de normativas é cada vez mais frequente na realização de ensaios. O objectivo da mesma, baseada no cumprimento de uma série de requisitos, é melhorar e aumentar o nível das competências técnicas, visando a comercialização e utilização dos materiais.

Nesta tese pressupõe-se estudar uma mistura betuminosa densa com características de camada de regularização. A camada de regularização situa-se entre as camadas de base e de desgaste, e contribui para garantir uma boa regularidade superficial do pavimento e impermeabilizar as camadas inferiores. Esta deve ser pouco permeável e, simultaneamente, possuir uma boa resistência às deformações permanentes.

A variação da energia de compactação e da temperatura da mistura foram também alvo de estudo. Uma boa compactação da mistura constituinte de uma camada do pavimento contribui decisivamente, não só para o aumento da rigidez da mistura, mas também para uma melhor degradação de cargas provenientes do tráfego. Esta situação conduz a uma diminuição das tensões horizontais e verticais instaladas na camada, garantindo um melhor comportamento da mistura, quer à fadiga quer às deformações permanentes. A maior ou menor facilidade das operações de compactação depende da trabalhabilidade da mistura betuminosa no momento da operação, e dos meios mecânicos utilizados.

Pressupõe-se que a variação da temperatura numa mistura betuminosa é bastante importante, pois é responsável pelo comportamento dos betumes que se reflectem na mistura, originando variações no comportamento mecânico, que serão tanto maiores quanto maior for a percentagem de betume.

1.2 Objectivos do trabalho

Esta dissertação tem como objectivo principal proceder ao refinamento da formulação, ensaio e análise da influência da temperatura e energia de compactação numa mistura betuminosa, recorrendo às normas da marcação CE.

De forma a tomar contacto com uma área de conhecimento recentemente aplicada a Portugal, bem como a execução do objectivo de trabalho proposto, fixaram-se os objectivos, que passo a citar:

- Pesquisa de documentos e informação referentes às misturas betuminosas para um melhor enquadramento com o objectivo principal.
- Ensaio, caracterização e tratamento dos materiais (agregados, betume e cal hidráulica).

- Estudo, análise e tratamento dos resultados obtidos na realização de uma mistura betuminosa densa.

As principais ferramentas de trabalho utilizadas no desenvolvimento desta dissertação foram as normas EN 13108-1 (2006) – Misturas Betuminosas – Especificações dos materiais Parte 1: betão betuminoso e NP EN 13043 (2004) – Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação, baseadas na marcação CE, que garantiu a fiabilidade e a conformidade dos resultados obtidos na realização da mistura.

CAPÍTULO 2

PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

2 Pavimentos Rodoviários

2.1 Tipo de Pavimentos

No contexto em que se enquadra o presente trabalho importa fazer uma abordagem aos tipos de pavimentos utilizados nas vias rodoviárias.

Um pavimento rodoviário é considerado como uma estrutura constituída por várias camadas de espessura finita (sistema multi-estratificado), apoiada na fundação constituída pelo terreno natural (Santos, 2002).

Quanto ao tipo de materiais, normalmente consideram-se duas componentes: i) camadas constituídas com materiais estabilizados com ligantes, na parte superior; e ii) camadas constituídas com materiais granulares estabilizados mecanicamente, habitualmente utilizados na parte inferior.

A principal diferença entre as duas famílias de materiais, quanto ao seu comportamento mecânico, reside no facto da primeira ter a capacidade de resistir a esforços de tracção, e a segunda de resistir a esforços de compressão.

Os pavimentos desempenham as seguintes funções: i) funções estruturais; e ii) funções funcionais. A primeira consiste em reduzir as tensões verticais aplicadas ao nível da fundação, de modo a que esta resista às solicitações do tráfego, impedindo ainda o acesso de água externa às camadas granulares e ao solo de fundação. A segunda função consiste em criar uma superfície regular e resistente, com suficiente rugosidade e resistência ao desgaste, de modo a garantir segurança e comodidade (Silva, 2005).

Existem essencialmente dois grupos de solicitações: i) as resultantes da aplicação das cargas dos veículos; e ii) dos agentes climáticos. As resultantes da aplicação das cargas dos veículos podem ser expressas, basicamente por uma pressão vertical e por uma acção tangencial aplicada no plano entre o pneu e pavimento.

As resultantes da acção dos agentes climáticos são constituídas pelas acções da temperatura e da água no pavimento e na fundação.

A figura 1 apresenta um esquema de um pavimento com indicação das principais acções e solicitações desenvolvidas.

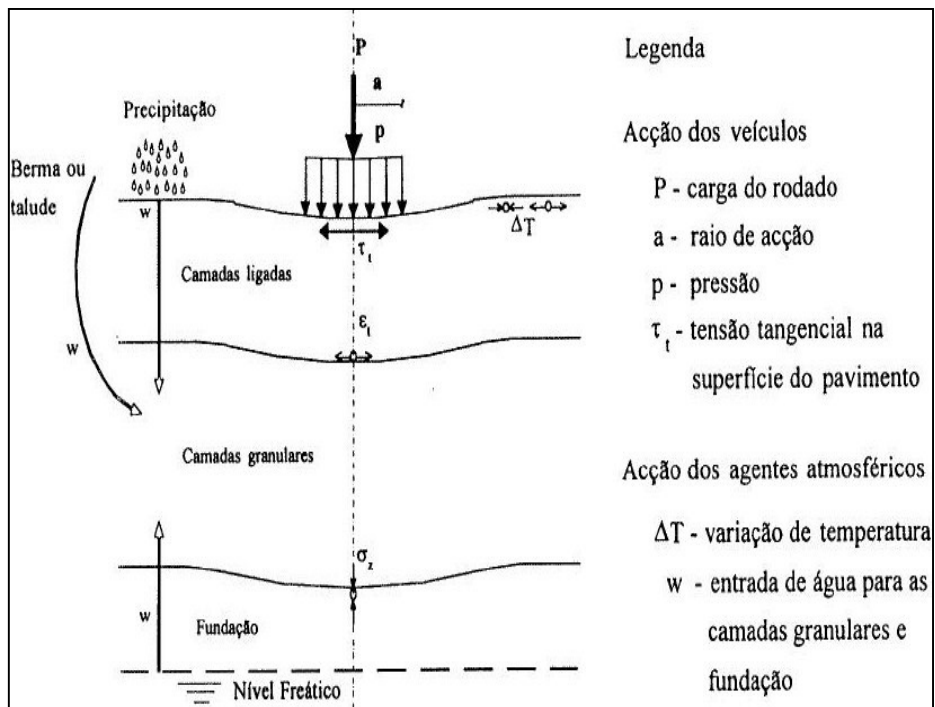


Figura 1 – Pavimento rodoviário: acções e solicitações (Santos, 2002)

Com base no comportamento estrutural, os pavimentos podem ser agrupados em três grupos:

- Pavimentos flexíveis – o principal elemento estrutural é uma camada de base em material granular;
- Pavimentos semi – rígidos – o principal elemento estrutural é uma camada de base tratada com cimento.
- Pavimentos rígidos – o principal elemento estrutural é constituído por uma camada de betão de cimento, que desempenha simultaneamente a função de camada de desgaste.

Na tabela 1 apresentam-se as várias famílias e tipos de degradações dos pavimentos:

Tabela 1 – Famílias e tipos de degradações adaptado de (Santos, 2002)

Famílias de degradação	Tipos de degradações
Deformação	Abatimento Deformações localizadas Ondulação Rodeiras
Fendilhamento	Fendas Pele de crocodilo
Desagregação da camada de desgaste	Desagregação Cabeça de gato Pelada Ninhos (covas)
Movimentos de materiais	Exsudação Subida de finos

2.1.1 Pavimentos Flexíveis

A constituição de um pavimento flexível pode ser muito diversa, em função da intensidade do tráfego, da capacidade de suporte do solo de fundação e das características dos materiais disponíveis, as quais, por sua vez, dependem das condições climáticas (Santos, 2002).

Assim quando o tráfego é pouco agressivo e se dispõe de materiais granulares de boa qualidade a custo favorável, podem ser projectados e construídos pavimentos onde é preponderante a componente granular. Em contrapartida, perante um tráfego intenso, numa região com reduzidos recursos de materiais granulares de qualidade, e face a uma fundação de reduzida capacidade de suporte será necessário considerar um pavimento integrando várias camadas betuminosas, com espessura total significativa (Santos, 2002).

Na figura 2 apresenta-se a constituição de um pavimento flexível, com os diferentes tipos de materiais e camadas.

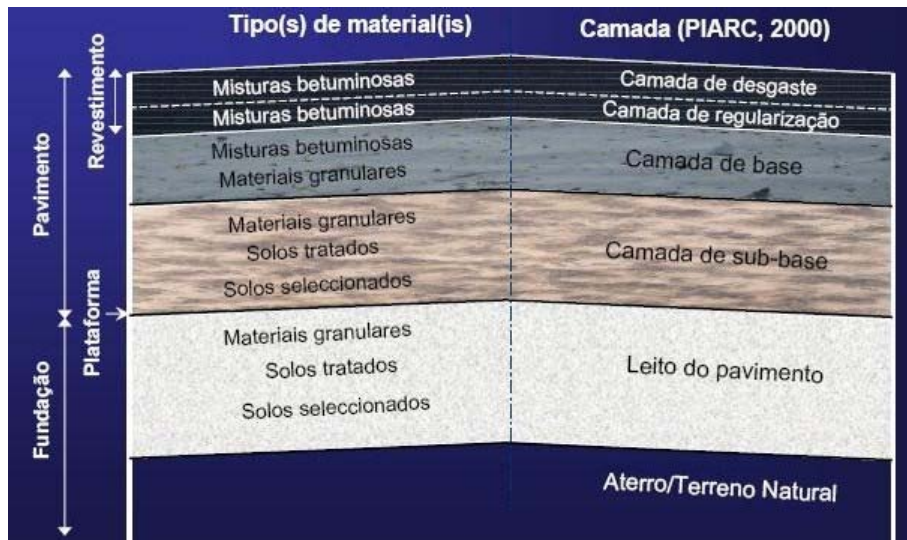


Figura 2 – Constituição de um Pavimento Flexível (LNEC, 2005)

Existem dois tipos de pavimentos flexíveis: i) pavimento flexível constituído por materiais granulares; e ii) pavimento flexível constituído por materiais betuminosos.

Os pavimentos constituídos em materiais granulares caracterizam-se por terem camadas de base e sub-base em materiais granulares não ligados, sobre os quais assenta uma camada de mistura betuminosa.

As camadas de materiais granulares constituem o principal elemento resistente da estrutura. A camada de desgaste tem como função impermeabilizar o pavimento, resistir ao desgaste produzido pelos rodados dos veículos e proporcionar uma circulação cómoda e segura.

As camadas granulares devem resistir às acções induzidas pelo tráfego e redistribuí-las pela camada de fundação, de modo a poderem ser suportadas por esta. É conveniente que as camadas inferiores sejam impermeáveis, para que possam proporcionar a saída da água infiltrada no pavimento.

Os pavimentos flexíveis com base em materiais granulares podem também atingir a ruína através do fendilhamento por fadiga das camadas betuminosas, em especial quando as espessuras destas são superiores a 4cm e as camadas subjacentes de materiais granulares possuem alguma deformabilidade, o que dá origem a que as camadas do revestimento betuminoso trabalhem à flexão.

A repetida aplicação de cargas poderá resultar em fendilhamento da malha fina (tipo pele de crocodilo) das camadas betuminosas, associados a fendas longitudinais e deformações, em especial na zona superior do pavimento.

A figura 3 apresenta esquematicamente um pavimento flexível com base em materiais granulares.

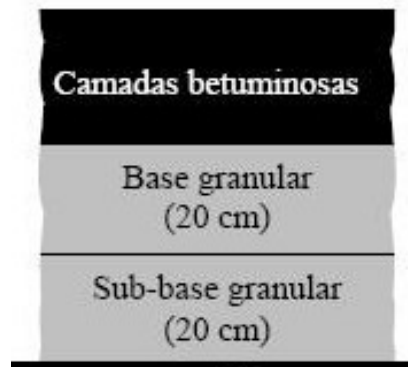


Figura 3 – Pavimento flexível de base granular (Picado-Santos, 2002)

Os pavimentos com base em materiais betuminosos caracterizam-se por terem a camada de base em materiais betuminosos, aplicada sobre camadas granulares não ligadas.

Nos pavimentos flexíveis com base em materiais betuminosos, a camada de base trabalha à flexão diminuindo significativamente o nível das tensões transmitidas à fundação. Quando a sua rigidez é elevada, pode também comportar-se como uma camada mais flexível, transmitindo assim tensões mais elevadas à camada de fundação.

Como podemos observar na primeira situação o mecanismo de ruína geralmente preponderante é o fendilhamento por fadiga das camadas betuminosas.

Nos pavimentos com base betuminosa pode ser preponderante a ruína por deformação excessiva à superfície, que resulta da contribuição das diversas camadas do pavimento e respectiva fundação.

Devido às características das camadas betuminosas e à sua susceptibilidade térmica, na previsão do comportamento deste tipo de pavimentos há que considerar ambos os mecanismos de ruína, já que ambos podem ocorrer conjuntamente.

Neste tipo de pavimentos, podem ainda ocorrer fendilamentos em malha larga, associados a deficiências de formulação das misturas betuminosas ou à falta de ligação entre camadas. A figura 4 representa esquematicamente um pavimento flexível com base em materiais betuminosos.

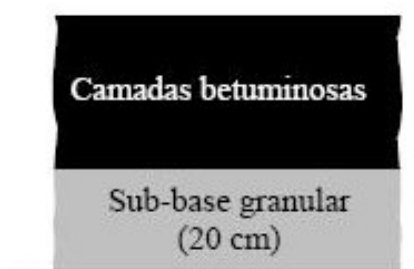


Figura 4 – Pavimento flexível de base betuminosa (Picado-Santos, 2002)

2.1.2 Pavimentos Semi – Rígidos

Os pavimentos semi – rígidos distinguem-se dos pavimentos flexíveis e rígidos, por terem uma maior rigidez das camadas que o constituem, em particular da camada de base.

As camadas betuminosas superiores (camada de desgaste e camada de regularização) têm constituição idêntica à dos pavimentos flexíveis, sendo que a camada de base é a que diferencia este tipo de pavimento (Santos, 2002). Esta camada é constituída por um material granular tratado com ligante hidráulico (cimento). A camada de sub - base, é em geral, constituída por material granular estabilizado mecanicamente (agregados de granulometria extensa).

Neste tipo de pavimentos é essencialmente a camada de base, tendo em conta a elevada rigidez, que absorve os esforços induzidos pela passagem dos veículos, reduzindo de forma significativa, as tensões transmitidas à fundação. Em certos casos, as camadas betuminosas ainda têm uma contribuição estrutural importante, em função das respectivas espessuras (Santos, 2002).

Estes pavimentos, além da degradação por fadiga, apresentam um modo de degradação específico, constituído pelo fendilhamento decorrente do processo natural de retracção na camada de base estabilizada com ligante hidráulico, o qual gera esforços de tracção superiores à sua resistência à tracção (Santos, 2002).

Este fendilhamento desenvolve-se transversalmente, transformando o pavimento numa estrutura descontínua, mas com a agravante de passar a possuir juntas transversais abertas.

Na figura 5 apresenta-se a constituição de um pavimento semi-rígido, com os diferentes tipos de materiais e camadas.

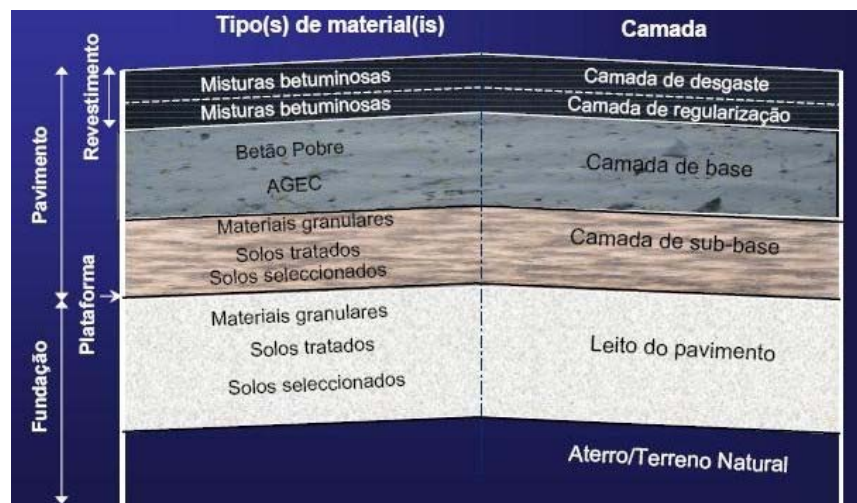


Figura 5 – Constituição de um Pavimento Semi – rígido (LNEC, 2005)

2.1.3 Pavimentos Rígidos

Os pavimentos rígidos têm uma constituição e modo de funcionamento bem diferenciados, relativamente aos pavimentos flexíveis. Importa descrever resumidamente os pavimentos rígidos, de modo a apoiar a análise das degradações deste tipo de pavimentos.

Um pavimento rígido é constituído por uma laje de betão de cimento, que pode ser colocada directamente sobre a fundação ou sobre uma ou mais camadas de suporte (sub – base), constituída por material granular ou, no caso de tráfego intenso, estabilizado com ligante hidráulico (camada de betão pobre). Neste pavimento considera-se que a laje de betão desempenha o papel de camada de desgaste e de camada de base.

A elevada resistência deste tipo de pavimento está relacionada com a resistência do betão de cimento, fazendo com que se trate de um tipo de pavimento muito resistente às elevadas pressões de contacto dos veículos pesados (Santos, 2002). Estes pavimentos não sofrem deformações viscoplásticas, mesmo quando submetidos a condições severas de tráfego e elevadas temperaturas.

O mecanismo de degradação considerado para efeitos de dimensionamento deste tipo de pavimento é o fendilhamento por fadiga da laje de betão. No entanto, não é este o tipo de degradação mais frequente nos pavimentos rígidos, mas sim as degradações de superfície. Estas patologias estão associadas ao estado das juntas, ao estado da superfície do betão e aos deslocamentos entre lajes.

Relativamente à conservação, um pavimento rígido requer reduzidas intervenções, ao longo do seu ciclo de vida. As intervenções efectuadas são as seguintes: i) eventual selagem de juntas e fendas; ii) reconstrução de alguma laje; e iii) reabilitação da macrotextura.

Quanto à tipologia, os pavimentos rígidos podem agrupar-se em quatro categorias diferentes (Santos, 2002):

- Pavimentos de betão vibrado, formados por lajes em betão não armado, com juntas transversais e longitudinais, dotadas ou não de barras de transferência de carga (passadores);
- Pavimentos de betão armado contínuo;
- Pavimentos de betão pré-esforçado; e
- Pavimentos formados por elementos prefabricados.

Na figura 6 apresenta-se a constituição de um pavimento rígido, com os diferentes tipos de materiais e camadas.

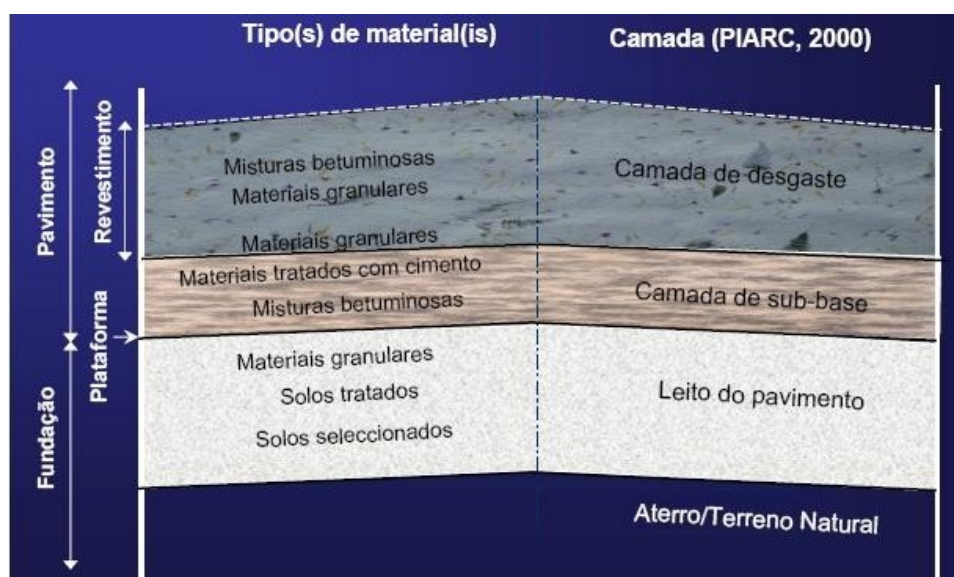


Figura 6 – Constituição de um Pavimento Rígido (LNEC, 2005)

2.2 Estrutura Constituinte de Pavimentos Rodoviários

A estrutura constituinte de um pavimento rodoviário é bastante importante, pois suporta, redistribui e transfere para as camadas inferiores as tensões a que está sujeita, sendo possível observar na Figura 7, as várias camadas de pavimento.

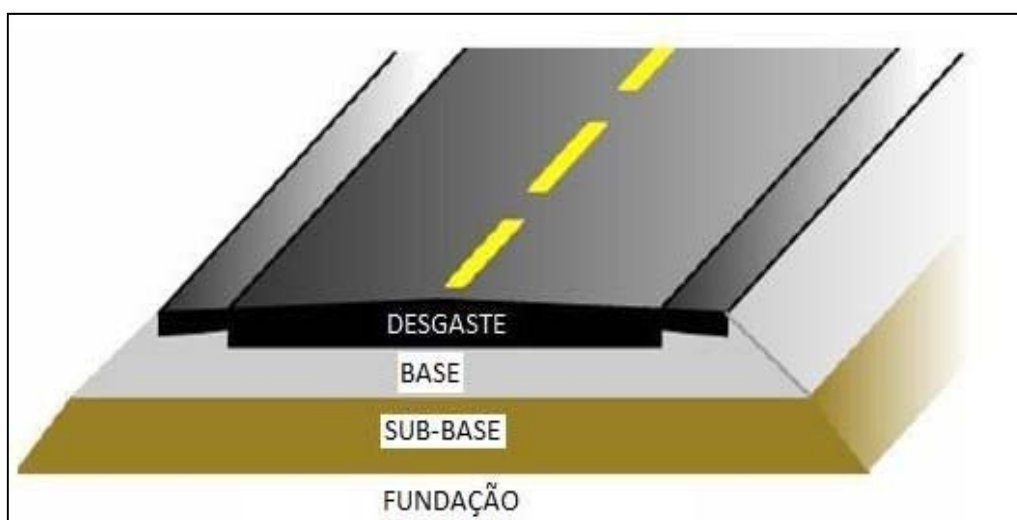


Figura 7 – Estrutura Constituinte de um pavimento rodoviário adaptado de (Specht, 2005)

2.2.1 Camada de Fundação

No caso de solos de fundação de boa qualidade, a camada de sub-base pode não existir. É, em geral, formada por solos granulares seleccionados ou materiais granulares britados, consoante se trata de tráfego ligeiro ou intenso, respectivamente.

2.2.2 Camada de Sub – Base

A camada de sub-base situa-se entre a base e o solo de fundação. A camada de sub-base garante um apoio uniforme da camada de base e proporciona uma plataforma adequada para a circulação do tráfego de obra, para o espalhamento da camada de base e para a compactação desta.

Pode igualmente desempenhar uma função drenante e anti-contaminante, evitando a subida de material fino do solo de fundação para a camada de base.

2.2.3 Camada de Base

A camada de base situa-se entre a sub-base e a camada de desgaste. A camada de base desempenha fundamentalmente um papel estrutural, distribuindo e reduzindo as tensões verticais sobre a sub-base e o solo de fundação. Devem ser resistentes à fadiga, à propagação de fendas e à acção da água.

Para tráfegos ligeiros a médios é formada por materiais granulares (britados ou não britados), e para tráfegos intensos são utilizados materiais incorporando ligantes betuminosos ou hidráulicos.

2.2.4 Camada de Desgaste

A camada de desgaste é uma camada de rolamento dos veículos, que protege as restantes camadas inferiores. Na camada de desgaste colocam-se materiais mais adequados para garantir a manutenção das características superficiais pretendidas.

A resistência e o custo dos materiais das camadas são geralmente decrescentes com o aumento da profundidade a que se encontra a camada.

Quando a espessura total de camadas ligadas for elevada, ou quando se pretenda uma maior regularidade superficial, poderão ser realizadas duas camadas superficiais, sendo a inferior designada por regularização (LNEC, 2009).

CAPÍTULO 3

MISTURAS BETUMINOSAS

3 Misturas Betuminosas

3.1 Tipos de Misturas Betuminosas

A tabela 2 apresenta os principais tipos de misturas betuminosas a quente aplicadas na rede rodoviária Portuguesa.

Tabela 2 – Quadro das Principais Camadas e tipos de Misturas Betuminosas (adaptado: NP EN 13108:2008)

Camada	Designação anterior	Designação actual
Base	Macadame Betuminoso, fuso B	AC 32 base ligante (MB)
	Macadame Betuminoso, fuso A	AC 20 base ligante (MB)
	Mistura Betuminosa de Alto Módulo	AC 20 base ligante (MBAM)
Ligação	Macadame Betuminoso, fuso A	AC 20 bin ligante (MB)
	Mistura Betuminosa Densa	AC 20 bin ligante (MBD)
	Mistura Betuminosa de Alto Módulo	AC 16 bin ligante (MBAM)
	Betão Betuminoso Subjacente	AC 14 bin ligante (BBsb)
Regularização	Macadame Betuminoso, fuso A	AC 20 reg ligante (MB)
	Mistura Betuminosa Densa	AC 20 reg ligante (MBD)
	Mistura Betuminosa de Alto Módulo	AC 16 reg ligante (MBAM)
	Betão Betuminoso Subjacente	AC 14 reg ligante (BBsb)
	Betão Betuminoso	AC 14 reg ligante (BB)
Desgaste	Betão Betuminoso	AC 14 surf ligante (BB)
	Betão Betuminoso Rugoso	AC 14 surf ligante (BBr)
	(micro) Betão Betuminoso Rugoso	AC 10 surf ligante (BBr)

As principais características das misturas betuminosas são função directa das proporções dos materiais misturados e das suas propriedades. É preciso ter um conhecimento prévio do tipo de misturas que se pretende aplicar, procurando as características mais apropriadas para as mesmas. Consideram-se misturas deste tipo os materiais constituídos por varias fracções granulométricas de agregados, doseados de uma forma ponderal ou volumétrica, misturados a quente, numa betoneira ou central, com uma certa quantidade de ligante previamente determinada (Santos, 2002).

Apresenta-se, de uma forma sucinta, vários tipos de misturas betuminosas fabricadas a quente.

- Macadame betuminoso: esta mistura aplica-se na construção de camadas de base, à qual a composição do agregado deve respeitar as suas características. Trata-se de uma composição granulométrica equivalente a um agregado de granulometria extensa, com a máxima dimensão 32mm ou, em alternativa, de 20mm.
- Mistura betuminosa densa: colocadas entre as camadas de base e de desgaste, devem contribuir para uma regularidade superficial e impermeabilizar as camadas inferiores. Deve ter uma boa resistência às deformações permanentes. É formada por um agregado 0/20, e é utilizada na realização de camadas de regularização.
- Mistura betuminosa de alto módulo: esta mistura tem sido aplicada nas camadas estruturais, principalmente em camadas de desgaste e regularização. A melhoria do respectivo comportamento é obtida através da utilização de materiais diferentes, sendo a principal diferença uma dosagem de um betume duro. A granulometria mais utilizada é a 0/20 para a camada de base e 0/14 para a camada de regularização. Os módulos de deformabilidade elevada são obtidos quase sempre com recurso ao emprego de ligantes duros. A resistência conservada é, genericamente, a verificação da perda da resistência à compressão simples, resultante da acção da água em provetes compactados de misturas betuminosas. (Santos, 2002). A mistura de alto módulo tem um melhor comportamento à fadiga e as deformações permanentes, originando camadas menos espessas.
- Betão betuminoso subjacente: esta mistura é aplicada na camada de regularização com uma dimensão máxima do agregado de 14mm. É importante assegurar a resistência à deformação permanente, pois pela sua maior quantidade de mástique (finos e ligante) e pela sua eventual reduzida porosidade, pode ter uma maior tendência para a deformação.
- Betão Betuminoso: esta mistura é destinada à realização de camadas de desgaste e regularização, composto por agregados cuja dimensão máxima é 14mm. É uma mistura pouco permeável, resistente à tracção abrasiva do tráfego, cuja macrotextura pode ser relativamente baixa. Nem sempre é a mais adequada para vias com elevadas velocidades e em condições menos favoráveis (condições climáticas).
- Micro – betão betuminoso rugoso: trata-se de uma mistura destinada à execução de camadas de desgaste com espessura delgada, podendo ser incluída no grupo dos tratamentos superficiais. Proporcionam uma excelente macrotextura, tendo no entanto uma maior percentagem de material fino. Neste tipo de mistura pode-se desprezar a contribuição para a resistência estrutural do pavimento.

3.2 Características gerais das Misturas Betuminosas

As misturas betuminosas são constituídas por um conjunto de materiais granulares doseados de uma forma ponderal ou volumétrica e misturados numa central com uma quantidade de ligante previamente determinada. Estes componentes depois de misturados são transportados, espalhados e compactados constituindo assim uma mistura betuminosa.

Na figura 8 estão representados os diferentes constituintes de uma mistura betuminosa.

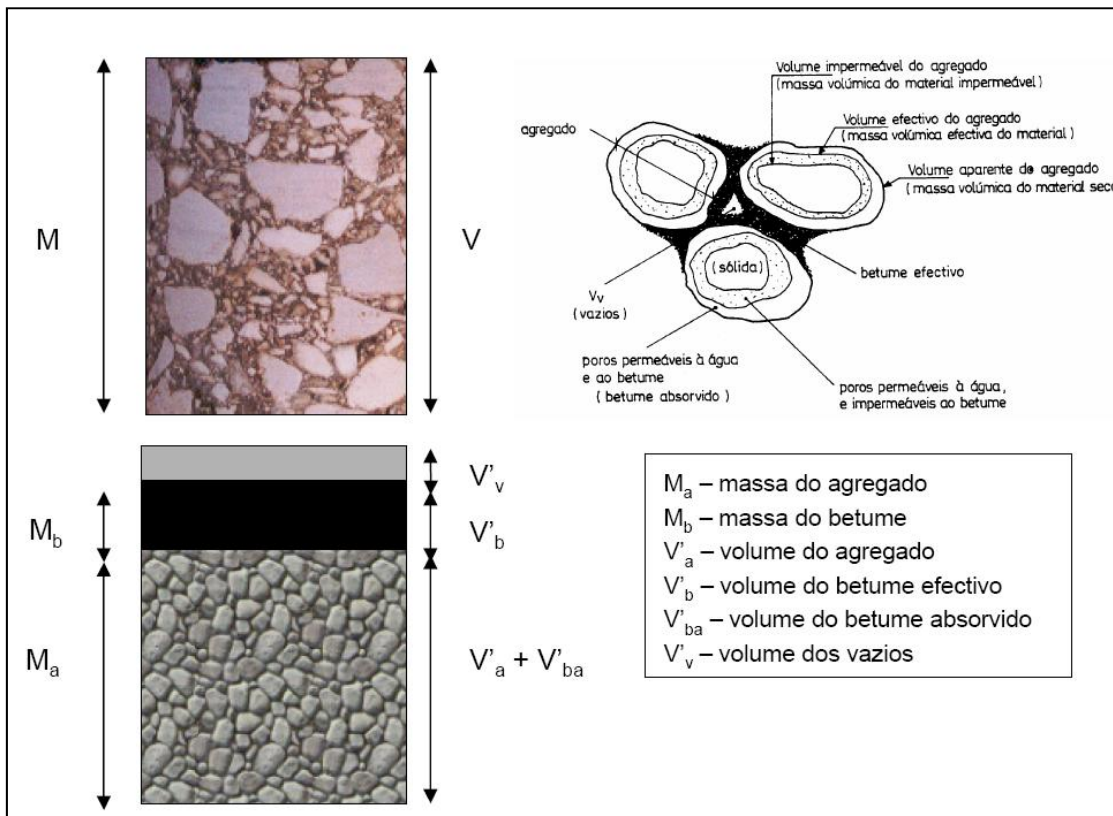


Figura 8 – Composição das misturas betuminosas (JAE, 1995)

Consoante o tipo de camada a executar, pode pretender-se o uso de misturas em que as boas características mecânicas sejam a principal exigência ou, por outro lado, usar misturas que, fundamentalmente, apresentem aptidão para o desempenho de funções que têm que ver com a segurança e conforto dos utentes da via.

Em qualquer dos casos devem ser garantidos determinados critérios de economia, durabilidade e facilidade de execução (Pereira e Santos, 2002). Em termos gerais, são exigidas às misturas betuminosas as seguintes características: i) estabilidade; ii) durabilidade; iii) flexibilidade; iv) resistência à fadiga; v) aderência; vi) impermeabilidade; e vii) trabalhabilidade.

3.2.1 Estabilidade

A estabilidade consiste em obter uma mistura com a capacidade adequada para resistir às deformações produzidas pelas cargas a que fica sujeita em serviço. Esta propriedade depende essencialmente da fricção interna dos materiais e da sua coesão. A fricção interna depende da textura dos materiais, da granulometria dos agregados, da forma das partículas, da densidade da mistura e da quantidade e tipo de betume (Santos, 2002).

Trata-se de um facto que resulta da combinação do atrito e do imbricamento (arranjo) entre os grãos de agregado que constitui a mistura. O atrito aumenta com a rugosidade das partículas de agregado e também com a área de contacto. O imbricamento ou ajuntamento depende fundamentalmente da forma dos agregados.

Independentemente do agregado que se use, a estabilidade aumenta com a compacidade do material, havendo por isso necessidade de usar granulometrias que permitam obter materiais de densidade adequada, e proceder a uma correcta compactação da mistura.

Uma quantidade excessiva de ligante pode lubrificar as partículas de agregado, reduzindo a fricção interna. A coesão resulta da introdução de betume no fabrico das misturas, assegurando este, uma ligação entre as partículas.

3.2.2 Durabilidade

A durabilidade de uma mistura betuminosa pretende caracterizar a sua resistência à desintegração, causada pelas solicitações climáticas e pelo tráfego. O betume pode, por exemplo, sofrer oxidações ou perda de componentes por volatilização, enquanto que o agregado pode sofrer danos devidos a ciclos de gelo-degelo (o que raramente acontece em Portugal). (Santos, 2002). Normalmente, quanto maior for a quantidade de betume utilizada maior será a durabilidade da mistura. A utilização de materiais de granulometria continua, e bem compactados, que resultem em misturas impermeáveis, melhoram a durabilidade.

Procura-se por vezes utilizar maiores percentagens de betume com o objectivo de obter uma película mais espessa de ligante a envolver os agregados, de modo a retardar o envelhecimento.

Maior percentagem de betume também produz uma redução do tamanho dos vazios e dos poros de comunicação entre eles, tornando mais difícil a entrada de ar e água para o interior da mistura. Como se pode entender a quantidade de betume usada em cada mistura para camada de desgaste deve também ser a suficiente para agregar convenientemente os materiais granulares, de modo que a acção abrasiva do tráfego não produza o arrancamento dos materiais. Deste ponto de vista, seria conveniente preencher completamente os vazios da mistura de agregados com betume. Contudo, isso seria inconveniente para a estabilidade da mistura. Assim, há que

estabelecer um compromisso, mantendo a percentagem de betume tão elevada quanto possível, de modo a que não prejudique a estabilidade da mistura.

3.2.3 Flexibilidade

A flexibilidade de uma mistura betuminosa está relacionada com a sua capacidade para se adaptar gradualmente aos movimentos do seu suporte.

Casualmente, ocorrem assentamentos diferenciais dos aterros. Além disso, algumas zonas do pavimento tendem a comprimir-se sob a acção do tráfego, dando-se também assentamentos. No entanto, esses fenómenos devem ocorrer sem que haja fendilhamento do pavimento. Daí a necessidade de produzir misturas com suficiente flexibilidade. Geralmente, a flexibilidade das misturas aumenta com o aumento da percentagem de betume e com a forma mais arredondada da fracção arenosa do agregado, melhorando também com a utilização de agregados de granulometria relativamente aberta.

3.2.4 Resistência à Fadiga

A fadiga nos pavimentos rodoviários é um fenómeno originado pela passagem repetida de veículos que induzem nos materiais ligados extensões de tracção constituídas por duas componentes: uma reversível (ou elástica) e outra irreversível. (Santos, 2002). Embora em cada aplicação do carregamento não se possa falar de um nível de extensão que provoque a rotura (até porque o material não tem um comportamento frágil durante grande parte da vida útil), a acumulação sucessiva de extensões irreversíveis acaba por provocar a abertura de fendas. Uma mistura betuminosa resiste à fadiga tanto melhor quanto maior for a durabilidade. As misturas densas têm um melhor desempenho que as misturas abertas, sendo conveniente a utilização de materiais bem graduados, mas que permitam a utilização de elevadas percentagens em betume sem que ocorra exsudação do ligante e sem prejudicar a estabilidade e a flexibilidade.

3.2.5 Aderência

Particularmente com tempo de chuva, as superfícies dos pavimentos devem apresentar boas características de aderência. É conveniente não utilizar betume em excesso. É importante escolher agregados com textura superficial rugosa e que tenham boa resistência ao desgaste, de maneira a manterem essa rugosidade. É importantíssimo promover uma boa e rápida drenagem superficial.

3.2.6 Impermeabilidade

Uma mistura betuminosa deve ter uma boa resistência à passagem de água e do ar através das camadas do pavimento. Geralmente, a quantidade de vazios é uma boa indicação da impermeabilidade de uma mistura betuminosa compactada, embora a interligação dos vazios e o seu contacto com a superfície do pavimento tenham maior importância na apreciação daquela característica.

3.2.7 Trabalhabilidade

Para além de fabricar um material com características desejadas é fundamental que esse material possa ser colocado e compactado com facilidade. Normalmente, o respeito pelas regras de operação dos equipamentos e a correcta formulação da mistura permitem resolver as questões relativas à trabalhabilidade dos materiais (Santos, 2002).

Por vezes, a utilização de alguns agregados com o objectivo de melhorar a estabilidade, dificultam a colocação das misturas. Estes problemas, detectados no início aplicação, podem solucionar-se procedendo assim a um ajuste da formulação da mistura.

3.3 Materiais constituintes das misturas betuminosas

3.3.1 Agregados

Os agregados constituem 90 a 95% da massa das misturas betuminosas e cerca de 75 a 85% do seu volume. Deste modo constituem o maior componente das misturas betuminosas sendo que as suas características são de uma importância fundamental para o comportamento das misturas betuminosas em que se inserem.

As rochas ígneas formam-se por arrefecimento do magma na sua ascensão desde as zonas mais profundas do planeta. Podem ser intrusivas (plutónicas) ou extrusivas (vulcânicas) consoante se o magma solidificou lentamente em profundidade ou bruscamente à superfície.

As rochas sedimentares formam-se à superfície da terra por acumulação de fragmentos de rochas pré-existentes (detríticas), por acumulação de restos de seres vivos (orgânicos) ou por precipitação química.

As rochas metamórficas formam-se por alteração de rochas existentes por modificação das condições de temperatura e pressão que, a ocorrer, promovem alterações mineralógicas, estruturais e de textura dando origem a uma nova rocha.

A norma Portuguesa e Europeia NP EN 13043 (2004) – “Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estrada, aeroportos e outras áreas de circulação” estabelece uma

série de definições em relação aos agregados a utilizar nas misturas betuminosas. Com o objectivo de clarificar alguns conceitos apresentam-se aqui algumas definições estabelecidas na norma:

- Agregado – material granular utilizado na construção. O agregado pode ser natural, artificial ou reciclado.
- Agregado natural – agregado de origem mineral que foi sujeito apenas a processamento mecânico.
- Agregado artificial – agregado de origem mineral resultante de um processo industrial compreendendo modificações térmicas ou outras.
- Agregado reciclado – agregado resultante do processamento de materiais inorgânicos anteriormente utilizados na construção.
- Dimensão do agregado – designação do agregado em termos das aberturas do peneiro inferior (d) e do superior (D), expressa como d/D. Esta designação admite a presença de algumas partículas retidas no peneiro superior (sobretamanho) e de algumas partículas que passam no peneiro inferior (subtamanho). A dimensão d, pode ser zero.
- Agregado grosso – designação dada aos agregados de maiores dimensões em que D é menor ou igual a 45mm e d maior ou igual a 2mm.
- Agregado fino – designação dada aos agregados com partículas de menores dimensões em que D é menor ou igual a 2mm e em que a maior parte das partículas fica retida no peneiro 0.063mm. O agregado fino pode ser produzido a partir da desintegração natural da rocha ou do seixo e/ou da sua britagem, ou do tratamento dos agregados artificiais.
- Finos – fracção do agregado que passa no peneiro de 0,063mm
- Fíler – agregado cuja maior parte passa no peneiro com 0,063mm e que pode ser adicionado aos materiais de construção para lhes conferir certas propriedades.
- Fíler aditivado – fíler de origem mineral misturado com hidróxido de cálcio.
- Fíler comercial – fíler de origem mineral, produzida em separado.
- Agregado de granulometria extensa – agregado que consiste numa mistura de agregados grossos e finos. Pode ser produzido sem separação das fracções grossa e fina ou pela mistura de agregados grossos e agregados finos.
- Granulometria – distribuição dimensional das partículas que passam numa série especificada de peneiros, expressa pelas percentagens em massa.
- Subtamanho – parte do agregado que passa no peneiro de menor dimensão utilizado na definição do agregado.
- Sobretamanho – parte do agregado que fica retida no peneiro de maior dimensão utilizado na definição da dimensão do agregado.

Podem definir-se em três grupos os agregados que são utilizados no fabrico das misturas betuminosas:

- Agregado grosso;
- Agregado fino; e
- Fíler.

As características dos agregados podem dividir-se em dois grupos principais (Gomes, 2005)

- Características independentes do processo de produção, como sejam:
 - Características químicas;
 - Características físicas;
 - Características mecânicas;
 - Características relativas à alterabilidade;
- Características dependentes do processo de produção:
 - Características relativas à forma das partículas;
 - Características relativas ao estado de limpeza do agregado;

Os agregados para serem comercializados tem de estar certificados segundo a Marcação CE dos materiais de construção, o que obriga a um conjunto de ensaios iniciais e a um conjunto de ensaios durante a comercialização com uma determinada periodicidade de acordo com a normalização Europeia. A norma NP EN 13043 (2004) é uma norma harmonizada que especifica os requisitos para os agregados a utilizar para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação.

Esta norma define os requisitos que os agregados e o fíler a utilizar em misturas betuminosas devem ter.

3.3.1.1 Requisitos para os agregados grossos e finos

Os requisitos que vêm especificados na NP EN 13043 (2004), para os agregados grossos e finos são: i) requisitos geométricos; ii) requisitos físicos; e iii) requisitos químicos.

Os requisitos geométricos especificados são:

- Dimensão do agregado;
- Granulometria;
 - Agregado grosso; e
 - Agregado fino e agregado de granulometria extensa.
- Teor de Finos;
- Qualidade dos Finos;
- Forma do Agregado Grosso;
- Percentagem de partículas esmagadas e partidas nos agregados grossos; e

➤ Angulosidade do agregado fino

A dimensão dos agregados deve ser definidas em termos das suas dimensões, usando as designações d/D , e devem satisfazer os requisitos especificados de granulometria. As dimensões devem ser especificadas utilizando as aberturas dos peneiros observadas na Tabela 3, compreendendo a serie base, a serie base mais serie 1, ou serie base mais serie 2. Não é permitida a combinação de aberturas de peneiros da serie 1 e da serie 2.

As dimensões do agregado devem ter uma razão D/d não inferior a 1,4.

Na tabela 3 apresentam-se as aberturas dos peneiros para especificar as dimensões dos agregados.

Tabela 3 – Aberturas dos peneiros para especificar as dimensões dos agregados (EN 13043: 2004)

Série base mm	Série base mais série 1 mm	Série base mais série 2 mm
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5,6(5)	-
8	-	6,3 (6)
-	8	8
-	-	10
-	11,2 (11)	-
-	-	12,5 (12)
16	-	14
-	16	16
-	-	20
31,5 (32)	22,4 (22)	-
-	31,5 (32)	31,5 (32)
-	-	40
-	45	-
63	63	63

NOTA: Os valores arredondados de aberturas de peneiros indicados entre parêntesis podem ser utilizados como descrições simplificadas das dimensões dos agregados.

A Granulometria das dimensões dos agregados, especificada de acordo com a dimensão do agregado, deve ser determinada de acordo com a EN933-1 e deve satisfazer os requisitos gerais para a granulometria em função da dimensão d/D do agregado.

São permitidas combinações de duas ou mais dimensões adjacentes ou de agregados de granulometria extensa.

No âmbito do sistema do controlo da produção em fábrica dos agregados, pelo menos 90% das granulometrias dos diferentes lotes, correspondentes a um período máximo de seis meses, devem situar-se dentro dos limites especificados em agregado grosso e agregado fino e agregado de granulometria extensa, para as tolerâncias das granulometrias típicas declaradas do produtor. Na tabela 4 apresenta-se os requisitos gerais para a granulometria.

Tabela 4 – Requisitos gerais para a granulometria (EN 13043: 2004)

Agregado	Dimensão mm	Porcentagem de passados, em massa					Categoria <i>G</i>
		$2D$	$1,4D^a$	D^b	d	$d/2^a$	
Grosso	$D > 2$	100	100	90 a 99	0 a 10	0 a 2	G_c 90/10
		100	98 a 100	90 a 99	0 a 15	0 a 5	G_c 90/15
		100	98 a 100	90 a 99	0 a 20	0 a 5	G_c 90/20
		100	98 a 100	85 a 99 ^c	0 a 15	0 a 2	G_c 85/15
		100	98 a 100	85 a 99 ^c	0 a 20	0 a 5	G_c 85/20
		100	98 a 100	85 a 99 ^c	0 a 35	0 a 5	G_c 85/35
Fino	$D \leq 2$	100	-	85 a 99	-	-	G_F 85
Granulometria extensa	$D \leq 45$ e $d = 0$	100	98 a 100	90 a 99	-	-	G_A 90
		100	98 a 100	85 a 99	-	-	G_A 85

^a Quando as aberturas dos peneiros calculadas como $1,4D$ e $d/2$ não corresponderem a números exactos das dimensões de malhas das séries de peneiros R20 da ISO 565:1990, deve ser adoptado o peneiro com a abertura mais próxima.

^b Se a percentagem em massa retida em D for $< 1\%$, o produtor deve documentar e declarar a granulometria típica, incluindo os peneiros D , d , e $d/2$ e os peneiros da série base mais a série 1 ou da série base mais a série 2 intermédios entre d e D .

^c Para agregados grossos com uma única dimensão d/D , em que $D/d < 2$, das categorias G_c 85/15, G_c 85/20 e G_c 85/35, o valor da percentagem em massa que passa em D pode ser inferior a 5%, consoante a aplicação específica.

Quando requerido para agregados grossos d/D , em $D \geq 2d$, devem-se aplicar os seguintes requisitos adicionais relativamente à percentagem de passados no peneiro intermédio:

Todas as granulometrias devem satisfazer os limites gerais e tolerâncias da granulometria do agregado grosso para o peneiro intermédio; e

O produtor deve documentar e, se solicitado, declarar a granulometria típica que passa no peneiro intermédio e as tolerâncias seleccionadas entre as categorias dos limites gerais e tolerâncias da granulometria do agregado grosso para o peneiro intermédio.

Na tabela 5 apresenta-se os limites de tolerância da granulometria.

Tabela 5 – Limites gerais e tolerâncias da granulometria do agregado grosso para o peneiro intermédio (EN 13043: 2004)

D/d	Peneiro intermédio ^a mm	Limites gerais e tolerâncias para o peneiro intermédio Percentagem de passados, em massa		Categoria G
		Limites gerais	Tolerâncias da granulometria típica declarada do produtor	
< 4	$D/1,4$	25 a 80	± 15	$G_{25/15}$
		20 a 70	± 15	$G_{20/15}$
≥ 4	$D/2$	20 a 70	$\pm 17,5$	$G_{20/17,5}$
Não Requerido				G_{NR}

^a Quando a abertura do peneiro intermédio, calculada como acima indicado, não corresponder a nenhuma dimensão de malha da série de peneiros R20 da ISO 565:1990, deve ser adoptado o peneiro com a abertura mais próxima.

Agregado fino e agregado de granulometria extensa 0/D devem satisfazer os requisitos gerais da granulometria especificada nos requisitos gerais para a granulometria, em função da sua dimensão superior D.

Devem-se aplicar os seguintes requisitos adicionais para controlar a variabilidade do agregado fino e do agregado de granulometria extensa 0/D com $D \leq 8$ mm.

O produtor deve documentar a declarar a granulometria típica para cada agregado fino e agregado de granulometria extensa com $D \leq 8$ mm produzido. As tolerâncias devem satisfazer os requisitos especificados na Tabela 6, das tolerâncias da granulometria típica declarada do produtor do agregado fino e do agregado de granulometria extensa 0/D com $D \leq 8$ mm.

Na tabela 6 apresentam-se as tolerâncias da granulometria típica declarada do produtor.

Tabela 6 – Tolerâncias da granulometria típica declarada do produtor do agregado fino e do agregado de granulometria extensa 0/D com $D \leq 8$ mm (EN 13043: 2004)

Abertura do peneiro mm	D	$D/2$	0,063	Categoria G_{TC}
Tolerâncias Percentagem de passados, em massa	$\pm 5^a$	± 10	$\pm 3^b$	G_{TC10}
	$\pm 5^a$	± 20	$\pm 3^b$	G_{TC20}
	Não requerido	Não requerido	Não requerido	G_{TCNR}

^a À exceção das categorias G_{A90} e G_{A85} as tolerâncias de ± 5 são adicionalmente limitadas pelos requisitos para a percentagem de passados em D no Quadro 2 (G_{A90} , G_{A85}).

^b Excepto para a categoria f_3 (teor de finos $\leq 3\%$).

Teor de finos, determinado de acordo com a EN 933-1, deve ser declarado pela correspondente categoria especificada na tabela 7.

Tabela 7 – Categorias para os valores máximos do teor de finos (EN 13043: 2004)

Agregado	Percentagem de passados no peneiro de 0,063 mm	Categoria f
Grosso	$\leq 0,5$	$f_{0,5}$
	≤ 1	f_1
	≤ 2	f_2
	≤ 4	f_4
	> 4	$f_{\text{Declarado}}$
	Não requerido	f_{NR}
Fino	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	≤ 22	f_{22}
	> 22	$f_{\text{Declarado}}$
	Não requerido	f_{NR}

Qualidade dos finos, quando o teor de finos no agregado fino, ou no agregado de granulometria extensa 0/D com $D \leq 8$ mm, não for superior a 3%, não são necessários ensaios adicionais.

Quando é requerida uma avaliação adicional da qualidade dos finos, aplicam-se as disposições que se apresentam de seguida.

Se o teor de finos no agregado fino estiver compreendido entre 3% e 10%, em massa, a nocividade dos finos da fracção 0/0,0125mm deve ser determinada em termos do valor de azul-de-metileno (MB_F), de acordo com a EN 933-9. O valor de azul-de-metileno deve ser declarado pela correspondente categoria especificada para valores máximos do azul-de-metileno.

Se o teor de finos for superior a 10%, em massa, estes devem satisfazer os requisitos especificados para o filer.

Na tabela 8 apresenta-se as categorias para os valores máximos do azul-de-metileno.

Tabela 8 – Categorias para os valores máximos do azul-de-metileno (MB_F) (EN 13043: 2004)

Valor do MB_F g/kg	Categoria MB_F
-	MB_{FNT}^a
≤ 10	MB_{F10}
≤ 25	MB_{F25}
> 25	$MB_{F\text{Declarado}}$
Não requerido	MB_{FNR}

^a A categoria MB_{FNT} significa que não são necessários ensaios.

A forma do agregado grosso deve ser determinada em termos do índice de achatamento, tal como especificado na EN 933-3.

O índice de achatamento deve ser o ensaio de referência para a determinação da forma do agregado grosso, deve também ser declarado pela correspondente categoria para os valores máximos do índice de achatamento, em função da aplicação específica.

Na tabela 9 apresenta-se as categorias para os valores máximos do índice de achatamento.

Tabela 9 – Categorias para os valores máximos do índice de achatamento (EN 13043: 2004)

Índice de achatamento	Categoria <i>FI</i>
≤ 10	<i>FI</i> ₁₀
≤ 15	<i>FI</i> ₁₅
≤ 20	<i>FI</i> ₂₀
≤ 25	<i>FI</i> ₂₅
≤ 30	<i>FI</i> ₃₀
≤ 35	<i>FI</i> ₃₅
≤ 50	<i>FI</i> ₅₀
> 50	<i>FI</i> _{Declarado}
Não requerido	<i>FI</i> _{NR}

Quando requerido, o índice de forma, determinado de acordo com a EN 933-4, deve ser declarado pela correspondente categoria para os valores máximos do índice de forma.

Na tabela 10 apresenta-se as categorias para os valores máximos do índice de forma.

Tabela 10 – Categorias para os valores máximos do índice de forma (EN 13043: 2004)

Índice de forma	Categoria <i>SI</i>
≤ 15	<i>SI</i> ₁₅
< 20	<i>SI</i> ₂₀
≤ 25	<i>SI</i> ₂₅
≤ 30	<i>SI</i> ₃₀
≤ 35	<i>SI</i> ₃₅
≤ 50	<i>SI</i> ₅₀
> 50	<i>SI</i> _{Declarado}
Não requerido	<i>SI</i> _{NR}

A percentagem de partícula esmagadas e partidas, incluindo a percentagem de partículas totalmente esmagadas e a percentagem de partículas totalmente roladas, determinada de acordo com a EN 933-5, deve ser declarada pela correspondente categoria especificada na tabela 11.

Os agregados obtidos por britagem de maciços rochosos devem ser considerados como pertencentes à categoria C_{100/0} e não requerem ensaios adicionais.

Tabela 11 – Categorias para a percentagem de partículas esmagadas e partidas (incluindo a percentagem de partículas totalmente esmagadas e de partículas totalmente roladas) (EN 13043: 2004)

Percentagem de partículas totalmente esmagadas ou partidas, em massa	Percentagem de partículas totalmente esmagadas ou partidas e parcialmente esmagadas ou partidas, em massa	Percentagem de partículas totalmente roladas, em massa	Categoria <i>C</i>
90 a 100	100	0	<i>C</i> _{100/0}
30 a 100	95 a 100	0 a 1	<i>C</i> _{95/1}
30 a 100	90 a 100	0 a 1	<i>C</i> _{90/1}
-	50 a 100	0 a 10	<i>C</i> _{50/10}
-	50 a 100	0 a 30	<i>C</i> _{50/30}
-	< 50	> 30	<i>C</i> _{Declarado}
Não requerido	Não requerido	Não requerido	<i>C</i> _{NR}

A angulosidade dos agregados finos, determinada de acordo com a EN 933-6, marcação de etiquetas, deve ser declarada pela corresponde categoria especificada na tabela 12.

Tabela 12 – Categorias para a angulosidade dos agregados finos (EN 13043: 2004)

Coeficiente de escoamento	Categoria <i>E_{CS}</i>
≥ 38	<i>E_{CS}</i> 38
≥ 35	<i>E_{CS}</i> 35
≥ 30	<i>E_{CS}</i> 30
< 30	<i>E_{CS}</i> Declarado
Não requerido	<i>E_{CS}</i> NR

Os requisitos físicos especificados são:

- Resistência à fragmentação do agregado grosso;
- Resistência ao polimento do agregado grosso para camadas de desgaste;
- Resistência à abrasão;
- Resistência ao desgaste por atrito do agregado grosso;
- Resistência à abrasão provocada por pneus pitonados do agregado grosso para utilização em camadas de desgaste;
- Massa volúmica das partículas;
 - Massa volúmica das partículas; e
 - Absorção de água.

- Baridade;
- Durabilidade;
 - Valor de absorção de água como ensaio de triagem para a resistência ao gelo-degelo; e
 - Resistência ao gelo-degelo.
- Resistência ao choque térmico;
- Afinidade dos agregados grossos aos ligantes betuminosos; e
- Sonnenbrand do basalto.

A resistência à fragmentação deve ser determinada em termos do coeficiente Los Angeles, tal como especificado na EN 1097-2, requisitos para filer. O ensaio Los Angeles deve ser o ensaio de referência para a determinação da resistência à fragmentação. O coeficiente Los Angeles deve ser declarado pela correspondente categoria para os valores máximos do coeficiente Los Angeles, em função da aplicação específica.

Na tabela 13 apresentam-se as categorias para os valores máximos do coeficiente de Los Angeles.

Tabela 13 – Categorias para os valores máximos do coeficiente Los Angeles (EN 13043: 2004)

Coeficiente Los Angeles	Categoria <i>LA</i>
≤ 15	<i>LA</i> ₁₅
≤ 20	<i>LA</i> ₂₀
≤ 25	<i>LA</i> ₂₅
≤ 30	<i>LA</i> ₃₀
≤ 40	<i>LA</i> ₄₀
≤ 50	<i>LA</i> ₅₀
> 50	<i>LA</i> _{Declarado}
Não requerido	<i>LA</i> _{NR}

A resistência à fragmentação por impacto, determinada de acordo com a EN 1097-2, avaliação da conformidade, deve ser declarada pela correspondente categoria para os valores máximos da resistência à fragmentação por impacto, em função da aplicação específica.

Na tabela 14 apresentam-se as categorias para os valores máximos de resistência à fragmentação por impacto.

Tabela 14 – Categorias para os valores máximos da resistência à fragmentação por impacto (EN 13043: 2004)

Valor de impacto %	Categoria <i>SZ</i>
≤ 18	<i>SZ</i> ₁₈
≤ 22	<i>SZ</i> ₂₂
≤ 26	<i>SZ</i> ₂₆
≤ 32	<i>SZ</i> ₃₂
> 32	<i>SZ</i> _{Declarado}
Não requerido	<i>SZ</i> _{NR}

A resistência ao polimento do agregado grosso para camadas de desgaste, deve ser determinada de acordo com a EN 1097-8. A resistência ao polimento deve ser declarada pela correspondente categoria na tabela 15.

Tabela 15 – Categorias para os valores mínimos da resistência ao polimento (EN 13043: 2004)

Coefficiente de polimento acelerado	Categoria <i>PSV</i>
≥ 68	<i>PSV</i> ₆₈
≥ 62	<i>PSV</i> ₆₂
≥ 56	<i>PSV</i> ₅₆
≥ 50	<i>PSV</i> ₅₀
≥ 44	<i>PSV</i> ₄₄
Valores intermédios e valores < 44	<i>PSV</i> _{Declarado}
Não requerido	<i>PSV</i> _{NR}

A resistência à abrasão deve ser determinada de acordo com a EN 1097-8. A resistência à abrasão da superfície deve ser declarada pela correspondente categoria especificada na tabela 16.

Tabela 16 – Categorias para os valores máximos da resistência à abrasão (EN 13043: 2004)

Valor de abrasão do agregado	Categoria <i>AAV</i>
≤ 10	<i>AAV</i> ₁₀
≤ 15	<i>AAV</i> ₁₅
≤ 20	<i>AAV</i> ₂₀
> 20	<i>AAV</i> _{Declarado}
Não requerido	<i>AAV</i> _{NR}

A resistência ao desgaste por atrito do agregado grosso (coeficiente micro-deval –*M_{DE}*) deve ser determinada de acordo com a EN 1097-1. O coeficiente micro-deval deve ser declarado pela correspondente categoria para os valores máximos da resistência ao desgaste por atrito em função da aplicação específica.

Na tabela 17 apresentam-se as categorias para os valores máximos da resistência ao desgaste por atrito.

Tabela 17 – Categorias para os valores máximos da resistência ao desgaste por atrito (EN 13043: 2004)

Coeficiente micro-Deval	Categoria M_{DE}
≤ 10	M_{DE10}
≤ 15	M_{DE15}
≤ 20	M_{DE20}
≤ 25	M_{DE25}
≤ 35	M_{DE35}
> 35	M_{DE} Declarado
Não requerido	$M_{DE}NR$

A resistência à abrasão provocada por pneus pitonados deve ser determinada de acordo com a EN 1097-9. A resistência à abrasão provocada por pneus pitonados deve ser declarada pela correspondente categoria especificada na tabela 18.

Tabela 18 – Categorias para os valores máximos da resistência à abrasão provocada por pneus pitonados (EN 13043:2004)

Coeficiente de abrasão nórdico	Categoria A_N
≤ 7	A_N7
≤ 10	A_N10
≤ 14	A_N14
≤ 19	A_N19
≤ 30	A_N30
Valores intermédios e valores > 30	A_N Declarado
Não requerido	A_NNR

A massa volúmica das partículas e absorção de água devem ser determinadas de acordo com a EN 1097-6, designação, marcação e etiquetagem ou transporte e embalagem, consoante a dimensão do agregado, e os resultados devem ser declarados.

A baridade deve ser determinada de acordo com a EN 1097-3 e, se solicitado, os resultados devem ser declarados.

O valor da absorção de água utilizado como ensaio de triagem, deve ser determinado de acordo com a EN 1097-6, designação, ou de acordo com a EN 1097-6, devendo ser declarados os resultados e a técnica utilizada.

Se absorção de água, determinada de acordo com a EN 1097-6, designação, não for superior aos valores das categorias WA_{241} ou WA_{242} , especificadas na tabela 19.

Tabela 19 – Categorias para os valores máximos da absorção de água (EN 1097-6:2000)

Absorção de água Porcentagem em massa	Categoria WA_{24}
≤ 1	WA_{241}
≤ 2	WA_{242}
<i>NOTA: O ensaio de absorção de água não é aplicável à escória de alto forno.</i>	

Se a absorção de água, determinada de acordo com a EN 1097-6, não for superior ao valor máximo de 0,5 especificado, o agregado deve ser considerado como resistente ao gelo-degelo.

Na tabela 20 apresentam-se as categorias para os valores máximos da absorção da água.

Tabela 20 – Categorias para os valores máximos de absorção de água (EN 13043: 2004)

Absorção de água Porcentagem em massa	Categoria W_{cm}
$\leq 0,5$	$W_{cm0,5}$
<i>NOTA: O ensaio de absorção de água não é aplicável à escória de alto forno.</i>	

A resistência ao gelo-degelo, determinada de acordo com a EN 1367-1 ou com a EN 1367-2, deve ser declarada pela correspondente categoria para os valores máximo da resistência ao gelo-degelo ou especificada para valores máximos de resistência ao sulfato de magnésio.

Nas tabelas 21 e 22, apresentam-se as categorias para os valores máximos da resistência ao sulfato de magnésio.

Tabela 21 – Categorias para os valores máximos da resistência ao sulfato de magnésio (EN 13043: 2004)

Gelo-degelo Porcentagem de perda em massa ^a	Categoria F
≤ 1	F_1
≤ 2	F_2
≤ 4	F_4
> 4	$F_{\text{Declarado}}$
Não requerido	F_{NR}
^a Em situações extremas de tempo frio e/ou de saturação em cloreto de sódio ou em descongelante, podem ser mais apropriados os ensaios que utilizem solução de cloreto de sódio ou ureia como descrito na EN 1367-1:1999 ^{*)} , Anexo B. Neste caso, não se aplicam os limites deste Quadro.	

Tabela 22 – Categorias para os valores máximos da resistência ao sulfato de magnésio (EN 13043: 2004)

Valor do sulfato de magnésio Porcentagem de perda em massa	Categoria <i>MS</i>
≤ 18	<i>MS</i> ₁₈
≤ 25	<i>MS</i> ₂₅
≤ 35	<i>MS</i> ₃₅
> 35	<i>MS</i> _{Declarado}
Não requerido	<i>MS</i> _{NR}

A resistência ao choque térmico deve ser determinada de acordo com a EN 1367-5 e os resultados devem ser declarados.

A afinidade dos agregados grossos aos ligantes betuminosos deve ser determinada de acordo com a prEN 12697-11 e os resultados devem ser declarados.

Se existirem sinais de alteração por Sonnenbrand, a perda de massa e a resistência à fragmentação devem ser determinadas de acordo com a EN 1367-3 e com a EN 1097-2.

No final do ensaio de ebulição, a perda de massa e a resistência à fragmentação (*SB*_{SZ} ou *SB*_{LA}) devem ser declaradas pela correspondente categoria para valores máximos de resistência ao Sonnenbrand.

Na tabela 23 apresentam-se as categorias para os valores máximos de resistência ao Sonnenbrand.

Tabela 23 – Categorias para os valores máximos de resistência ao “Sonnenbrand” (EN 13043: 2004)

Método de ensaio	Resultado	%	Categoria <i>SB</i>
Ensaio de ebulição e a) Ensaio de fragmentação por impacto ou b) Ensaio Los Angeles	Perda de massa após a ebulição	≤ 1	<i>SB</i> _{SZ} <i>SB</i> _{LA}
	Aumento do valor de fragmentação por impacto após ebulição	≤ 5	
	Aumento do coeficiente Los Angeles após ebulição	≤ 8	
Ensaio de ebulição e a) Ensaio de fragmentação por impacto ou b) Ensaio Los Angeles	Perda de massa após a ebulição	> 1	<i>SB</i> _{SZ} Declarado <i>SB</i> _{LA} Declarado
	Aumento do valor de fragmentação por impacto após ebulição	> 5	
	Aumento do coeficiente Los Angeles após ebulição	> 8	
Não requerido			<i>SB</i> _{NR}

Os requisitos químicos especificados são:

- Composição química;
- Contaminantes orgânicos leves;
- Componentes que afectam a estabilidade volumétrica das escórias de alto-forno e de aciaria;
 - Desintegração do silicato bicálcico da escória de alto-forno arrefecido ao ar;
 - Desintegração do ferro da escória de alto arrefecimento ao ar; e
 - Estabilidade volumétrica do agregado de escória de aciaria.

A composição química do agregado deve ser determinada de acordo com a EN 932-3 e os resultados devem ser declarados.

O teor de contaminantes orgânicos leves com dimensões superiores a 2mm, determinado de acordo com a EN 1744-1, deve ser declarado pela correspondente categoria para os valores máximos do teor em contaminantes orgânicos leves, em função da aplicação específica.

Na tabela 24 apresentam-se as categorias para os valores máximos do teor em contaminantes orgânicos leves.

Tabela 24 – Categorias para os valores máximos do teor em contaminantes orgânicos leves (EN 13043: 2004)

Percentagem de material grosso	Categoria m_{LPC}
$\leq 0,1$	$m_{LPC} 0,1$
$\leq 0,5$	$m_{LPC} 0,5$
$> 0,5$	m_{LPC} Declaado
Não requerido	m_{LPC} NR

O agregado de escória de alto-forno arrefecida ao ar e a desintegração do ferro da escória de alto-forno arrefecida ao ar, devem ser ensaiado de acordo com a EN 1744-1, não devendo apresentar desintegração de silicatos bicálcico e os resultados devem ser declarados.

A estabilidade volumétrica do agregado de escória de aciaria deve ser determinada de acordo com a EN 1744-1. O agregado de escória de aciaria deve ser considerado estável, do ponto de vista volumétrico, se a sua expansão não for superior ao valor máximo da categoria para os valores máximos da expansão do agregado de escória de aciaria em função da aplicação específica. Para a determinação do teor de MgO deve ser utilizado o ensaio apropriado especificado na EN 196-2 e os resultados devem ser declarados.

Na tabela 25 apresentam-se as categorias para os valores máximos da expansão do agregado de escória de aciaria.

Tabela 25 – Categorias para os valores máximos da expansão do agregado de escória de aciaria (EN 13043: 2004)

Tipo de escória de aciaria	Expansão Porcentagem em volume	Categoria V
Escória BOF ^a /Escória EAF ^b	$\leq 3,5$	$V_{3,5}$
	$\leq 6,5$	$V_{6,5}$
	≤ 10	V_{10}
	> 10	$V_{\text{Declarado}}$
	Não requerido	V_{NR}
a Escória proveniente de processo básico com injeção de oxigénio. b Escória proveniente de alto forno a arco voltaico.		

3.3.1.2 Requisitos para o fíler

Os requisitos que vêm especificados na NP EN 13043 (2004), para o fíler são: i) requisitos geométricos; ii) requisitos físicos; iii) requisitos químicos; e iv) requisitos para a regularidade da produção de fíler.

Os requisitos geométricos especificados são:

- Granulometria; e
- Finos nocivos.

A granulometria deve ser determinada de acordo com a EN 933-10. Os requisitos devem estar em conformidade com os valores especificados na tabela 26.

Tabela 26 – Requisitos da granulometria para o fíler comercial (EN 13043: 2004)

Dimensão do peneiro mm	Porcentagem de passados, em massa	
	Limites inferiores e superiores para resultados individuais	Amplitude máxima da granulometria declarada pelo produtor ^a
2	100	-
0,125	85 a 100	10
0,063	70 a 100	10
^a Amplitude da granulometria declarada baseada nos últimos 20 valores (ver Quadro B.4, linha 1). 90 % dos resultados declarados devem estar dentro deste limite, mas todos os resultados devem estar dentro dos limites inferiores e superiores da granulometria (ver coluna 2 do presente Quadro).		

Os finos nocivos, devem ser determinados em termos do valor de azul-de-metileno (MB_F), de acordo com a EN 933-9. O valor do azul-de-metileno deve ser declarado pela correspondente categoria para os valores máximos do azul-de-metileno.

Os requisitos físicos especificados são:

- Teor de água
- Massa volúmica das partículas

- Características rigidificantes
 - Vazios do filer seco compactado (Rigden)
 - Variação da temperatura anel e bola do filer para misturas betuminosas

O teor de água do filer comercial, determinado de acordo com a EN 1097-5, não deve ser superior a 1% em massa.

A massa volúmica das partículas deve ser determinada de acordo com a EN 1097-7 e os resultados devem ser declarados.

Os vazios do filer seco compactado, determinados de acordo com a EN 1097-4, devem ser declarados pela correspondente categoria para os vazios do filer seco compactado em função da aplicação específica.

Na tabela 27 apresentam-se as categorias para os vazios do filer seco compactado.

Tabela 27 – Categorias para os vazios do filer seco compactado (EN 13043: 2004)

Porcentagem em volume		Categoria v
Limites inferiores e superiores para resultados individuais	Amplitude máxima dos valores declarados pelo produtor ^a	
28 a 38	4	$v_{28/38}$
38 a 45	4	$v_{38/45}$
28 a 45	4	$v_{28/45}$
44 a 55	4	$v_{44/55}$
Não requerido	Não requerido	v_{NR}

^a Amplitude dos vazios do filer seco compactado baseada nos últimos 20 valores (ver Quadro B.4, linha 5). 90 % dos resultados calculados devem estar dentro deste limite, mas todos os resultados devem estar dentro dos limites inferiores e superiores (ver coluna 1 do presente Quadro).

A variação da temperatura anel e bola, determinada de acordo com a EN 13179-1, deve ser declarada pela correspondente categorias para a variação da temperatura anel e bola do filer em função da aplicação específica.

Na tabela 28 apresentam-se as categorias para a variação da temperatura anel e bola do filer.

Tabela 28 – Categorias para a variação da temperatura anel e bola do filer (EN 13043: 2004)

Variação da temperatura anel e bola °C	Categoria $\Delta_{R\&B}$
8 a 16	$\Delta_{R\&B}8/16$
17 a 25	$\Delta_{R\&B}17/25$
8 a 25	$\Delta_{R\&B}8/25$
> 25	$\Delta_{R\&B}25$
Não requerido	$\Delta_{R\&B}NR$

Os requisitos químicos especificados são:

- Solubilidade em água;
- Susceptibilidade à água;
- Teor de carbonato de cálcio do filer calcário; e
- Teor de hidróxido de cálcio do filer aditivado.

A solubilidade em água, determinada de acordo com a EN 1744-1, deve ser declarada pela correspondente categoria para valores máximos da solubilidade em água.

Na tabela 29 apresentam-se as categorias para valores máximos da solubilidade em água.

Tabela 29 – Categorias para valores máximos da solubilidade em água (EN 13043: 2004)

Solubilidade em água Porcentagem em massa	Categoria <i>WS</i>
≤ 10	<i>WS</i> ₁₀
>10	<i>WS</i> _{Declarado}
Não requerido	<i>WS</i> _{NR}

A susceptibilidade à água deve ser determinada de acordo com a prEN 1744-4 e os resultados devem ser declarados.

O teor de carbonato de cálcio, determinado de acordo com a EN 196-21, deve ser declarado pela correspondente categoria para os valores mínimos do teor de carbonato de cálcio em função da aplicação específica.

Nas tabelas 30 e 31 apresentam-se as categorias para os valores mínimos do teor de carbonato de cálcio.

Tabela 30 – Categorias para os valores mínimos do teor de carbonato de cálcio (EN 13043: 2004)

Teor de carbonato de cálcio Porcentagem em massa	Categoria <i>CC</i>
≥ 90	<i>CC</i> ₉₀
≥ 80	<i>CC</i> ₈₀
≥ 70	<i>CC</i> ₇₀
Não requerido	<i>CC</i> _{NR}
<i>NOTA: Na EN 196-21⁹⁾ o resultado do ensaio é expresso em termos de teor de dióxido de carbono. Para a determinação do teor de carbonato de cálcio, o teor de dióxido de carbono é multiplicado por um factor de 2,2742.</i>	

O teor de hidróxido de cálcio do filer aditivado, determinado de acordo com a EN 459-2, deve ser declarado pela correspondente categoria para os valores mínimos do teor de hidróxido de cálcio.

Tabela 31 – Categorias para os valores mínimos do teor de hidróxido de cálcio (EN 13043: 2004)

Teor de hidróxido de cálcio Porcentagem em massa	Categoria <i>Ka</i>
≥ 25	<i>Ka25</i>
≥ 20	<i>Ka20</i>
≥ 10	<i>Ka10</i>
< 10	<i>Ka</i> _{Declarado}
Não requerido	<i>KaNR</i>
<i>NOTA: Na EN 459-2^{*)} o resultado do ensaio é descrito em termos do teor de óxido de cálcio. Para a determinação do teor de hidróxido de cálcio, o teor de óxido de cálcio é multiplicado por um factor igual a 1,3213.</i>	

Os requisitos para a regularidade da produção de filer especificados são:

- Número do betume do filer comercial;
- Perda ao fogo das cinzas volantes;
- Massa volúmica das partículas do filer comercial;
- Massa volúmica aparente em querosene; e
- Ensaio blaine.

O número do betume do filer comercial, relacionado com a regularidade das suas características rigidificantes, determinado de acordo com a EN 13179-2, deve ser declarado pela correspondente categoria, requisitos do número do betume do filer comercial, em função da aplicação específica.

Na tabela 32 apresentam-se os requisitos do número do betume do filer comercial.

Tabela 32 – Requisitos do “número do betume” do filer comercial (EN 13043: 2004)

Limites inferiores e superiores para resultados individuais %	Amplitude máxima do “número do betume” declarado pelo produtor ^a %	Categoria <i>BN</i>
28 a 39	6	<i>BN</i> _{28/39}
40 a 52	6	<i>BN</i> _{40/52}
53 a 62	6	<i>BN</i> _{53/62}
Declarado	Declarado	<i>BN</i> _{Declarado}
Não requerido	Não requerido	<i>BN</i> _{NR}
^a Amplitude do “número do betume” baseada nos últimos 20 valores (ver Quadro B.4). 90 % dos resultados calculados devem estar dentro deste limite, mas todos os resultados devem estar dentro dos limites inferiores e superiores do “número do betume” (ver coluna 1 do presente Quadro).		

A perda ao fogo das cinzas volantes de carvão pulverizado utilizadas como filer deve ser determinada de acordo com a EN 1744-1. A amplitude dos valores declarados pelo produtor não deve ser superior a 6% em massa. Se os agregados contiverem componentes oxidáveis não voláteis, como no caso das escórias de alto-forno, a perda ao fogo deve ser corrigida de acordo com a EN 196-2.

A massa volúmica das partículas do filer comercial deve ser determinada de acordo com a EN 1097-7. A amplitude dos valores declarados pelo produtor não deve ser superior a $0,2 \text{ Mg/m}^3$.

A massa volúmica aparente em querosene deve ser determinada de acordo com a EN 1097-3. A amplitude dos valores declarados pelo produtor deve situar-se entre $0,5 \text{ Mg/m}^3$ e $0,9 \text{ Mg/m}^3$.

A superfície específica blaine deve ser determinada de acordo com a EN 196-6. A amplitude dos valores declarados pelo produtor não deve ser superior a $140 \text{ m}^2/\text{Kg}$.

3.3.2 Betume

3.3.2.1 Composição, Estrutura, Reologia e Caracterização do Ligante Betuminoso

Antes de se proceder à formulação duma mistura betuminosa, deve caracterizar-se os materiais utilizados para sua produção. O ligante betuminoso, ocupa entre 10 a 15% do volume da mistura betuminosa, pode ser de um dos quatro principais tipos de ligantes betuminosos utilizados em misturas betuminosas:

- Betumes puros;
- Emulsões betuminosas;
- Betumes fluidificados (Cut-back);
- Betumes modificados;

O betume puro é obtido por destilação directa do petróleo bruto. O betume é classificado, normalmente, através do valor obtido no ensaio de penetração, que avalia indirectamente a viscosidade ou dureza do betume a determinada temperatura. Os valores de penetração do betume puro, obtidos no ensaio de penetração, variam entre 10/20 (betumes muito duros) até 180/220 (betumes muito fluidos). Os betumes mais utilizados em Portugal são os betumes 10/20, 35/50 e 50/70.

As emulsões betuminosas consistem numa mistura de água, betume e emulsionante. A função do emulsionante é envolver os glóbulos de betume para reduzir a tensão superficial entre estes e a água, de modo a permitir obter uma suspensão estável de glóbulos de betume muito finos num meio aquoso (suspensão esta pouco consistente à temperatura ambiente, ou seja, com reduzida viscosidade). Após espalhamento da emulsão produz-se a rotura da emulsão (separação entre a água e o betume), o que permite que o betume se reúna, voltando a obter a sua viscosidade normal, enquanto que a água desaparece por evaporação e infiltração (processo de cura). Esta técnica de redução da viscosidade do betume permite a sua aplicação em misturas a frio.

Os betumes fluidificados são obtidos por adição de um fluidificante (dissolvente volátil) ao betume puro, de modo a reduzir temporariamente a viscosidade do betume à temperatura ambiente. Desta forma, podem produzir-se e espalhar-se misturas betuminosas a temperaturas

muito inferiores às utilizadas nas misturas com betumes puros. Depois de espalhada a mistura betuminosa, o fluidificante evapora, o que confere ao betume a sua viscosidade natural. Os inconvenientes de se utilizar um produto pouco económico e de se libertar vapores poluentes para a atmosfera levaram a que este tipo de ligante não seja utilizado actualmente.

Estes três tipos de ligantes podem ser modificados pela adição de determinados agentes (por exemplo, elastómeros e plastómeros) que melhoram determinadas características do betume, obtendo-se assim betumes modificados.

Relativamente à utilização de cada um destes tipos de ligante betuminoso, os betumes puros são utilizados habitualmente na produção de misturas betuminosas a quente, dado que a sua viscosidade à temperatura ambiente não lhe confere trabalhabilidade suficiente para realizar a mistura betuminosa, o mesmo se passando com os betumes modificados, sendo estes utilizados em situações mais específicas.

Os betumes fluidificados e as emulsões betuminosas são utilizados em misturas betuminosas a frio. Nesse tipo de misturas betuminosas, utilizam-se preferencialmente emulsões betuminosas, uma vez que os betumes fluidificados são pouco económicos (elevado custo do fluidificante).

Os betumes puros são os betumes betuminosos mais utilizados, sendo assim fundamental o conhecimento da sua composição, estrutura e reologia. O betume é uma mistura química complexa de moléculas de natureza predominantemente hidrocarbonada com menores quantidades de grupos heterocíclicos estruturalmente análogos e grupos funcionais contendo átomos de enxofre, nitrogénio e oxigénio (Silva, 2005).

Uma análise elementar a uma série de betumes obtidos a partir de uma larga variedade de petróleos mostrou que os betumes contêm (Silva, 2005):

- Carbono: 82 a 88%
- Hidrogénio: 8 a 11%
- Enxofre: 0 a 6%
- Oxigénio: 0 a 1,5%
- Nitrogénio: 0 a 1%

A caracterização dos betumes puros é realizada através de um conjunto de ensaios que avaliam o seu comportamento a diferentes temperaturas.

Os ensaios utilizados tradicionalmente para caracterização dos betumes puros são os seguintes:

- Penetração do betume, a 25C, durante 5 segundos (EN 1426)
- Ponto de amolecimento “anel e bola” (EN 1427)
- Ponto de fragilidade de Fraass (EN 12593)
- Viscosidade cinemática a 60C e a 135C (EN12595)
- Ponto de inflamação no Cleveland Open Cup (EN 2592)

- Ensaio de envelhecimento TFOT e RTFOT (EN 12607-2 e EN 12607-1)
- Solubilidade no tricloroetileno (pureza do betume) (EN 12592)

3.3.3 Cal Hidráulica

A cal hidráulica é fabricada por processos idênticos aos do fabrico da cal comum. Obtém-se por cozedura de calcários margoso (8 a 20% de argilas), a temperaturas entre os 1000 °C e os 1500 °C, preferencialmente em fornos contínuos verticais de alvenaria e revestimento refractário. Deste processo, obtêm-se óxido de cálcio, silicatos e aluminatos de cálcio, capazes de se hidratarem conferindo hidráulica à cal.

A cal hidráulica possui a propriedade de ganhar presa e endurecer debaixo de água. O dióxido de carbono atmosférico também contribui para o seu endurecimento por reacção com o hidróxido de cálcio. Nalguns países é também designada cal hidráulica artificial.

Vantagens e desvantagens da cal hidráulica.

A cal proporciona às argamassas uma boa trabalhabilidade, aumento da resistência mecânica, boa aderência às superfícies, bom acabamento, maior rentabilidade de mão-de-obra, melhora consideravelmente a qualidade da construção civil.

Tem vantagem sobre as argamassas à base de cimento devido à sua menor retracção.

A cal é muito semelhante, podendo prestar-se a falsificações, o que pode levar a consequências bastantes más, pois tem uma resistência menor que o cimento. Além disso não há garantia da qualidade da cal, variando as percentagens dos seus constituintes, com conseqüente variação das suas propriedades (Jalali, 2009).

3.3.3.1 Normalização da Cal

A marcação CE em produtos de construção foi introduzida pela directiva 89/106/EEC, dos produtos da construção e representa uma passagem para a comercialização na união europeia, pois sem esta directiva não será possível a sua comercialização.

A cal para construção está normalizada em Portugal desde 2002 pela norma NP EN 459-1. A norma está subdividida em três partes:

- NP EN 459-1: Definições, especificações e critérios de conformidade;
- NP EN 459-2: Métodos de ensaio; e
- NP EN 459-3: Avaliação da conformidade.

A cal deve ter um processo de fabrico rigoroso plano de controlo de qualidade, ao longo das diferentes fases de tratamento, desde a matéria-prima até aos diversos produtos acabados. Para controlo da qualidade da cal é necessário garantir: (Jalali, 2009)

- A boa cozedura, não apresentando grãos de material inerte;
- Que a cal não tenha sofrido carbonatação;
- Plasticidade;
- Estabilidade de volume; e
- Resistência mecânica só a muito longo prazo.

A utilização de cal hidráulica nas misturas betuminosas provoca uma melhoria das características da camada de desgaste. Consegue promover uma maior consistência da mistura betuminosa, devido à aderência entre cal e os agregados.

Melhora também a resistência à penetração da água, provocando assim uma diminuição no envelhecimento e aumenta a resistência à fissuração.

Na figura 9, apresenta-se a execução da camada de revestimento, utilizando cal hidráulica.



Figura 9 – Execução da camada de revestimento (Jalali, 2009)

CAPÍTULO 4

MARCAÇÃO CE DAS MISTURAS BETUMINOSAS

4 Marcação CE das Misturas Betuminosas

4.1 Introdução

A marcação CE aplica-se a produtos abrangidos pelas directivas da nova abordagem que, definindo as exigências essenciais a satisfazer pelos produtos, referem-se principalmente à segurança, à saúde e à protecção do ambiente, remetendo para especificações técnicas as características e requisitos a assegurar (LNEC, 2009).

A marcação destina-se a permitir a livre circulação dos produtos no espaço económico europeu (EEE), distinguindo-se assim das marcas voluntárias, cujo principal objectivo é a valorização e diferenciação dos produtos no mercado.

A conformidade de um produto com os requisitos para eles especificados deve ser evidenciada pelo produtor por via da marcação CE, a qual deve ser colocada no próprio produtor, numa etiqueta nele fixada, na respectiva embalagem ou nos respectivos documentos comerciais de acompanhamento.

A sigla CE significa Conformitée Européne e traduz-se no símbolo a seguir reproduzido na Figura 10.

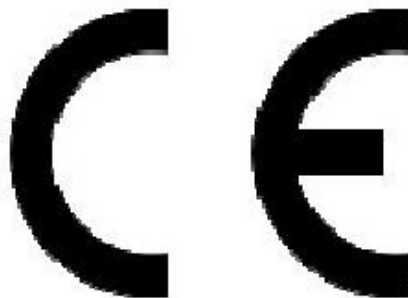


Figura 10 – Grafismo da marca CE de conformidade, (adaptado: (Sousa, 2009))

A marcação CE das misturas betuminosas a quente é obrigatória desde de 1 de Março de 2008.

A conformidade de uma mistura betuminosa com os requisitos constantes da NP EN 13108-1 deve ser certificada por um organismo notificado, de acordo com o sistema de certificação da conformidade 2+, conforme previsto no anexo da NP EN 13108-1 (para utilização em estradas e outras áreas de circulação, não sujeitas a disposições regulamentares para a reacção ao fogo). O produtor deve elaborar uma declaração de conformidade CE que inclua, para além de outras informações, a descrição do produto e as disposições com as quais o produto se encontra em conformidade.

A presente norma europeia EN 13108 (2006) das misturas betuminosas está dividida em 8 partes, onde especificam os requisitos das misturas betuminosas.

Esta norma europeia inclui os requisitos para a selecção dos materiais constituintes e deve ser utilizada em conjunto com a norma EN 13108-20 (2008) (Misturas betuminosas especificações dos materiais parte 20: ensaios tipo) e 13108-21 (2008) (Misturas betuminosas especificações dos materiais parte 21: controlo da produção em fabrica.

A norma EN13108-20 (2008) tem como objectivo especificar o procedimento dos ensaios de tipo a utilizar para validação das misturas betuminosas destinadas a estradas, aeroportos e outras áreas de circulação.

A norma EN 13108-21 (2008) tem como objectivo especificar os requisitos e ao controlo da produção em fábrica, que devem ser satisfeitos durante o fabrico das misturas betuminosas destinadas a serem utilizadas em estradas aeroportos e outras áreas de circulação. Aplica-se ao controlo das misturas betuminosas onde os constituintes e a fórmula da mistura são conhecidos e onde a conformidade com as especificações de composição, com requisitos baseados no desempenho, ou com os relacionados com o desempenho como indicado nas normas EN 13108-1 a EN 13108-8 (2006), foi demonstrada através dos ensaios de tipo.

4.2 Requisitos das misturas betuminosas na marcação CE

Os requisitos especificados são:

- Fusos granulometricos;
- Percentagem de betume recomendada;
- Ensaios de tipo iniciais; e
- Composição da mistura betuminosa a declarar.

As misturas betuminosas normalmente aplicadas em Portugal e de acordo com os fusos granulométricos especificados na norma EN 13108-1 recomendam-se para as misturas os fusos granulométricos apresentados na tabela 33. Têm em consideração os peneiros da serie base mais a serie 2 apresentados na EN 13043, sendo os que melhor se adaptam às misturas.

Todos os fusos têm em consideração os seguintes peneiros: 1,4D, D, peneiro característico intermédio, peneiro extra opcional, 2mm, peneiro característico intermédio, peneiro extra opcional e 0,063mm.

Tabela 33 – Fusos granulométricos para várias misturas betuminosas (adaptado: EN 13108: 2008)

Peneiro	AC32 base ligante (MB)	AC20 base ligante (MB) ou AC20 reg ligante (MB) ou AC20 bin ligante (MB)	AC20 base ligante (MBAM)	AC16 reg ligante (MBAM) ou AC16 bin ligante (MBAM)	AC20 reg ligante (MBD) ou AC20 bin ligante (MBD)	AC14 reg ligante (BBSb) ou AC14 bin ligante (BBSb)	AC14 reg ligante (BB) ou AC14 surf ligante (BB)	AC14 surf ligante (BBr)	AC10 surf ligante (BBr)
40	100	---	---	---	---	---	---	---	---
31,5	90-100	100	100	---	100	---	---	---	---
20	68-93	90-100	90-100	100	90-100	100	100	100	---
16	---	---	---	90-100	---	---	---	---	---
14	---	---	---	---	---	90-100	90-100	90-100	100
12,5	---	57-86	---	---	---	---	---	---	---
10	---	---	63-81	63-83	67-80	67-83	67-77	62-78	90-100
6,3	40-60	---	---	---	---	---	---	---	47-64
4	---	34-49	42-57	39-57	42-57	42-60	40-52	30-40	27-39
2	26-41	26-41	27-41	27-41	32-46	30-42	25-40	22-30	22-32
1	---	---	---	---	---	---	---	---	15-28
0,5	12-26	12-26	11-23	11-23	18-29	13-22	11-19	12-21	12-25
0,125	4-14	4-14	7-13	7-12	7-14	7-13	6-11	7-13	---
0,063	2-7	2-7	5-9	5-9	5-9	5-9	5-8	4-9	7-11

As percentagens de betume recomendadas estão apresentadas na tabela 34. As percentagens de betume recomendadas para cada tipo de mistura são valores indicativos pois os valores reais dependerão da percentagem de betume obtida no estudo de formulação.

Tabela 34 – Percentagens de betume para as várias misturas betuminosas adaptado de (NP EN 13108: 2008)

Camada	Designação anterior	Designação actual	Percentagem de betume (valor mínimo indicativo)
Base	Macadame Betuminoso, fuso B	AC 32 base ligante (MB)	4,0
	Macadame Betuminoso, fuso A	AC 20 base ligante (MB)	4,4
	Mistura Betuminosa de Alto Módulo	AC 20 base ligante (MBAM)	5,2
Ligação	Macadame Betuminoso, fuso A	AC 20 bin ligante (MB)	4,4
	Mistura Betuminosa Densa	AC 20 bin ligante (MBD)	4,8
	Mistura Betuminosa de Alto Módulo	AC 16 bin ligante (MBAM)	5,2
	Betão Betuminoso Subjacente	AC 14 bin ligante (BBSb)	4,9
Regularização	Macadame Betuminoso, fuso A	AC 20 reg ligante (MB)	4,4
	Mistura Betuminosa Densa	AC 20 reg ligante (MBD)	4,8
	Mistura Betuminosa de Alto Módulo	AC 16 reg ligante (MBAM)	5,2
	Betão Betuminoso Subjacente	AC 14 reg ligante (BBSb)	4,9
	Betão Betuminoso	AC 14 reg ligante (BB)	4,9
Desgaste	Betão Betuminoso	AC 14 surf ligante (BB)	4,9
	Betão Betuminoso Rugoso	AC 14 surf ligante (BBr)	4,8
	(micro) Betão Betuminoso Rugoso	AC 10 surf ligante (BBr)	5,0

Os ensaios de tipo iniciais deverão ser realizados sobre a mistura fabricada de acordo com a composição realizada em laboratório.

De acordo com a EN 13108-1, os requisitos a seleccionar devem ser tais que evitem sobre especificações relativas ao betão betuminoso. Na tabela 35 recomendam-se que sejam seleccionados os seguintes requisitos e as respectivas categorias.

Tabela 35 – Requisitos das misturas betuminosas adaptado de (NP EN 13108: 2008)

NP EN 13108-1		Características dos materiais constituintes			Requisitos gerais					Requisitos empíricos				
Capítulo da Norma		4.2	4.4	4.5	5.2.1		5.2.2	5.2.4	5.2.6	5.2.10	5.2.1.2 e 5.3.1.2	5.3.1.3		
Designação anterior	Designação actual	Ligante	Mistura betuminosa recuperada	Aditivos	Composição, granulometria e percentagem de ligante		Série de peneiros	D (mm)	Porosidade, Vmin a Vmax. (%) (Compactador Impacto 75 pancadadas)	Sensibilidade à água (ITSR) (Compactador Impacto 75 pancadadas)	Resistência à deformação permanente (Wheel Traking) (60°C) equipamento pequeno, Método B, ao ar, compactador de rolo)	Temperatura de fabrico da mistura betuminosa	Granulometria (Intervalo % por massa Fuso)	Percentagem em betume, B _{min} (%)
Macadame Betuminoso 0/37,5	AC 32 base ligante (MB)	Tipo e classe a declarar	A declarar	A declarar	A declarar	Série Base + Série2	31,5	NR	NR	A categoria deve ser declarada	Resistência à deformação permanente (Wheel Traking) (60°C) equipamento pequeno, Método B, ao ar, compactador de rolo)	Consoante ligante	Ver Quarto 2 deste anexo	A declarar (ver secção 52 deste Anexo)
Macadame Betuminoso 0/25	AC 20 base ligante (MB)							20	3,0-6,0					
	AC 20 base ligante (MB)							20	3,0-6,0					
	AC 20 bin ligante (MB)							20	3,0-6,0					
Misturas Betuminosas Densa	AC 20 base ligante (MBD)							20	3,0-6,0					
	AC 20 bin ligante (MBD)							20	3,0-6,0					
Misturas Betuminosas de Alto Módulo	AC 20 reg ligante (MBAM)							20	3,0-6,0					
	AC 16 reg ligante (MBAM)							16	2,0-5,0					
	AC 16 bin ligante (MBAM)							16	2,0-5,0					
Betão Betuminoso Subjacente	AC 14 reg ligante (BBsb)							14	3,0-5,0					
	AC 14 bin ligante (BBsb)	14	3,0-5,0											
Betão betuminoso C.Desgaste	AC 14 reg ligante (BB)	14	3,0-5,0											
	AC 14 surf ligante (BB)	14	3,0-5,0											
Betão betuminoso Rugoso	AC 14 surf ligante (BBr)	14	3,0-6,0											
(micro)Betão betuminoso Rugoso	AC 10 surf ligante (BBr)	10	3,0-6,0	NR										

A composição da mistura betuminosa a declarar, recomenda que seja utilizada a formulação e validação em laboratório. Deverá ser declarada, para efeitos de marcação CE, a composição laboratorial.

4.3 Normas para Misturas Betuminosas

As normas das misturas betuminosas estão organizadas em 7 grupos de especificações: i) normas de especificação de misturas betuminosas; ii) normas de especificação e ensaios para betumes e ligantes betuminosos; iii) normas de especificação e ensaios para agregados; iv) norma de ensaio inicial tipo; v) norma para controlo de produção; vi) normas de ensaio para misturas betuminosas preparadas a quente; e vii) norma de ensaio para classificação ao fogo.

Seguidamente são apresentados os 7 grupos de especificações. De forma a simplificar essa apresentação optou-se por esquematizar a descrição de cada uma das normas, utilizando para o efeito tabelas. As normas serão referenciadas pelas versões EN e não NP EN, já que nem todas as normas foram traduzidas. Os títulos das normas serão identificados em português.

4.3.1 Normas de especificações de Misturas Betuminosas

As normas de especificação para misturas betuminosas são:

- EN 13108-1: Betão Betuminoso;
- EN 13108-2: Betão betuminoso para camadas muito finas;
- EN 13108-3: Misturas betuminosas moles;
- EN 13108-4: Misturas betuminosas cilindradas a quente;
- EN 13108-5: Mistura agreado-mástique;
- EN 13108-6: Mistura mástique;
- EN13108-7: Mistura porosa; e
- EN13108-8: Mistura recuperada.

Na tabela 36 identifica-se para cada norma as especificações gerais a respectiva referência e título e descrevem-se os respectivos objectivos de cada uma das partes desta norma.

Tabela 36 – Normas de especificações de Misturas Betuminosas

Norma	Título	Objectivo
EN 13108-1	Misturas Betuminosas - Especificações de materiais - Parte 1: betão betuminoso	Especifica requisitos para as misturas do grupo betão betuminoso para uso em estradas, aeroportos e outras áreas de circulação. Nota: A especificação mistura de derivados desta norma pode ser usado quer para declarar a conformidade da mistura com os requisitos conhecidos quer para conhecer esses requisitos. Esta norma europeia inclui requisitos para a selecção dos materiais constituintes. Foi concebido para ser lido em conjunto com a EN13108-20 e EN13108-21. Esta Norma Europeia não abrange as misturas do grupo betão betuminoso com ligantes quimicamente modificados que não estejam abrangidos pela EN 14023.
EN 13108-2	Misturas betuminosas - Especificações de materiais - Parte 2: misturas betuminosas para camadas muito delgadas	Especifica requisitos para as misturas do grupo betão betuminoso para camadas muito delgadas utilizadas em estradas, aeroportos e outras áreas de circulação. Nota: A especificação mistura de derivados desta norma pode ser usado quer para declarar a conformidade da mistura com os requisitos conhecidos quer para conhecer esses requisitos. Esta norma europeia inclui requisitos para a selecção dos materiais constituintes. Foi concebido para ser lido em conjunto com a EN13108-20 e EN13108-21. Esta Norma Europeia não abrange as misturas do grupo betão betuminoso para camadas muito delgadas com ligantes quimicamente modificados que não estejam abrangidos pela EN 14023.
EN 13108-3	Misturas betuminosas - Especificações de materiais - Parte 3: misturas betuminosas moles	Especifica requisitos para as misturas do grupo betão betuminoso mole utilizadas em estradas, aeroportos e outras áreas de circulação. Nota: A especificação mistura de derivados desta norma pode ser usado quer para declarar a conformidade da mistura com os requisitos conhecidos quer para conhecer esses requisitos. Esta norma europeia inclui requisitos para a selecção dos materiais constituintes. Foi concebido para ser lido em conjunto com a EN13108-20 e EN13108-21. Esta Norma Europeia não abrange as misturas do grupo betão betuminoso mole com ligantes quimicamente modificados que não estejam abrangidos pela EN 14023.
EN 13108-4	Misturas betuminosas - Especificações de materiais - Parte 4: misturas betuminosas cilindradas a quente	Especifica requisitos para as misturas do grupo misturas betuminosas cilindradas a quente utilizadas em estradas, aeroportos e outras áreas de circulação. Nota: A especificação mistura de derivados desta norma pode ser usado quer para declarar a conformidade da mistura com os requisitos conhecidos quer para conhecer esses requisitos. Esta norma europeia inclui requisitos para a selecção dos materiais constituintes. Foi concebido para ser lido em conjunto com a EN13108-20 e EN13108-21. Esta Norma Europeia não abrange as misturas betuminosas cilindradas a quente com ligantes quimicamente modificados que não estejam abrangidos pela EN 14023.

(Continua)

Tabela 36 – Normas de especificações de Misturas Betuminosa (Continuação)

<p>EN 13108-5</p>	<p>Misturas betuminosas - Especificações de materiais – Parte 5: mistura agregado- máistique</p>	<p>Especifica requisitos para as misturas do grupo misturas agregado-máistique utilizadas em estradas, aeroportos e outras áreas de circulação.</p> <p>Nota: A especificação mistura de derivados desta norma pode ser usado quer para declarar a conformidade da mistura com os requisitos conhecidos quer para conhecer esses requisitos. Esta norma europeia inclui requisitos para a selecção dos materiais constituintes. Foi concebido para ser lido em conjunto com a EN13108-20 e EN13108-21.</p> <p>Esta Norma Europeia não abrange as misturas agregado -máistique quimicamente modificados que não estejam abrangidos pela EN 14023.</p>
<p>EN 13108-6</p>	<p>Misturas betuminosas - Especificações de materiais - Parte 6: mistura máistique</p>	<p>Especifica requisitos para as misturas do grupo misturas máistique utilizadas em estradas, aeroportos e outras áreas de circulação.</p> <p>Nota: A especificação mistura de derivados desta norma pode ser usado quer para declarar a conformidade da mistura com os requisitos conhecidos quer para conhecer esses requisitos. Esta norma europeia inclui requisitos para a selecção dos materiais constituintes. Foi concebido para ser lido em conjunto com a EN13108-20 e EN13108-21.</p> <p>Esta Norma Europeia não abrange as misturas máistique quimicamente modificada que não estejam abrangidos pela EN 14023.</p>
<p>EN 13108-7</p>	<p>Misturas betuminosas - Especificações de materiais - Parte 7: mistura porosa</p>	<p>Especifica requisitos para as misturas do grupo misturas porosa utilizadas em estradas, aeroportos e outras áreas de circulação.</p> <p>Nota: A especificação mistura de derivados desta norma pode ser usado quer para declarar a conformidade da mistura com os requisitos conhecidos quer para conhecer esses requisitos. Esta norma europeia inclui requisitos para a selecção dos materiais constituintes. Foi concebido para ser lido em conjunto com a EN13108-20 e EN13108-21.</p> <p>Esta Norma Europeia não abrange as misturas porosas quimicamente modificados que não estejam abrangidos pela EN 14023.</p>
<p>EN 13108-8</p>	<p>Misturas betuminosas - Especificações de materiais - Parte 8: mistura recuperada</p>	<p>Especifica requisitos para a classificação e descrição de mistura recuperada como matéria constitutiva de misturas asfálticas.</p> <p>Esta Norma Europeia especifica apenas misturas recuperadas com ligantes betuminosos: pavimentação asfáltica betume modificado ou asfáltico rígido.</p>

4.3.2 Normas de especificação e ensaios para Betumes e Ligantes Betuminosos

Este grupo de normas é composto por normas que especificam vários métodos para a determinação dos betumes e ligantes betuminosos, como podemos observar na tabela 37.

Tabela 37 – Normas de especificação e ensaios para Betumes e Ligantes Betuminosos

Norma	Título	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12591	Betume e Ligantes Betuminosos - Especificações do grau de betume para pavimentos	Especifica as propriedades e métodos de ensaio do grau de betume adequados para uso na construção e manutenção das estradas.	---
EN 12924	Betume e Ligantes Betuminosos - Especificações do grau de betume para pavimentos	Este documento oferece uma estrutura para especificar as propriedades e métodos relevantes para betumes de difícil grau de pavimentação, que são adequados para utilizar na construção e manutenção de estradas, aeroportos e outras áreas pavimentadas. Este estrutura abrange três características essenciais de acordo com o mandato M/124: EU Produtos de Construção Directiva 89/106/CEE: Consistência na temperatura de serviço intermédia; Consistência na temperatura de serviço elevada; Durabilidade na parte superior.	---

(Continua)

Tabela 37 – Normas de especificação e ensaios para Betumes e Ligantes Betuminosos (Continuação)

Norma	Título	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 1426	Betume e Ligantes Betuminosos - Determinação da penetração da agulha	Especifica um método para determinar a consistência de ligantes betuminosos.	O ensaio consiste em definir regras para determinar a consistência de ligantes betuminosos, descrevendo um processo de ensaio para penetrações até 330x0,1mm. Para valores de penetração superiores, até 500x0,1mm, são requeridos diferentes parâmetros de ensaio (a temperatura é reduzida para 15°C, mantendo-se a carga e o tempo de ensaio)
EN 1427	Betume e Ligantes Betuminosos - Determinação do ponto de amolecimento. Método Anel e Bola	Especifica um método para determinação do ponto de amolecimento de ligantes betuminosos, na gama de temperaturas entre os 28 e 150°C.	O ensaio consiste em dois discos de ligante betuminoso, moldados entre anéis de cobre, são aquecidos num banho líquido, a uma temperatura que sobe controladamente, suportando cada um desses discos uma esfera de aço. O ponto de amolecimento é a média das temperaturas a que os dois discos amolecem suficientemente permitindo que as esferas, envolvidas num filme de ligante, caiam a uma distância de 25,0 ± 0,4mm.
EN 12595	Betume e Ligantes Betuminosos - Determinação da viscosidade cinemática	Especifica um método para a determinação da viscosidade cinemática de ligantes betuminosos a 60 °C e 135 °C, na faixa de 6mm ² /s de 300 000 mm ² /s. Os resultados obtidos no método pode ser usado para calcular a viscosidade dinâmica, quando a densidade do material de ensaio é conhecido ou pode ser determinada.	O tempo para um volume fixo de líquido a fluir através do capilar de um viscosímetro capilar de vidro calibrado com uma cabeça e reprodutível com precisão, a uma temperatura controlada de perto é determinante. A viscosidade cinemática é calculada multiplicando o tempo de fluxo e segundo pelo factor de calibração viscosímetro.

(Continua)

Tabela 37 – Normas de especificação e ensaios para Betumes e Ligantes Betuminosos (Continuação)

Norma	Título	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12596	Betume e Ligantes Betuminosos - Determinação da viscosidade dinâmica por vácuo capilar	Especifica um método para a determinação da viscosidade dinâmica de ligantes betuminosos por meio de um vácuo, viscosímetro capilar a 60°C no intervalo de 0,0036 Pa.s para mais de 580.00 Pa.s.	O tempo para um volume fixo de líquido a ser elaborado através de um tubo capilar por meio de vácuo, sob condições rigorosamente controladas de temperatura e vácuo é determinada a viscosidade. A viscosidade é calculada multiplicando o tempo de escoamento em segundos pelo viscosímetro.
EN 13808	Betume e ligantes betuminosos - Especificação de emulsões betuminosas catiónicas	Especifica as exigências para o desempenho de duas características catiónicas classes emulsão betuminosa que são adequadas para uso na construção e manutenção de estradas, aeroportos e outras áreas pavimentadas.	Aplicável a emulsões de betume puro, ou de betume fluidificado, ou de cortar asfalto e emulsões de betume modificado, ou de betume modificado, ou para o polímero modificado cut-back, que inclui também o látex pelas emulsões betuminosas.
EN 14023	Betume e Ligantes Betuminosos - Especificação de polímero betumes modificados	Especifica as características e métodos de ensaio pertinentes, betumes modificados por polímeros, que são adequados para uso na construção e manutenção de estradas.	---

4.3.3 Normas de especificações e ensaios para Agregados

Este grupo de normas é composto por normas que especificam vários métodos para a determinação das características dos agregados. Neste grupo verifica-se que os ensaios são constituídos por características geométricas tais como: EN 933-1 e EN 933-10 e os ensaios constituídos pelas características mecânicas e físicas tais como, EN 1097-6 e EN 1097-7. Tenho ainda as normas EN 13043 e 12697-11.

Na tabela 38 apresentam-se as especificações e ensaios para agregados.

Tabela 38 – Normas de especificações e ensaios para Agregados

Norma	Título	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 13043	Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação	Especifica as propriedades dos agregados e dos fileres obtidos a partir do processamento de materiais naturais, artificiais ou reciclados para utilização em misturas betuminosas e tratamentos superficiais a aplicar em estradas, aeroportos e outras áreas de circulação. Esta Norma não é aplicável à utilização de produtos de demolição de misturas betuminosas. Inclui, ainda, a avaliação da conformidade dos produtos.	---

(Continua)

Tabela 38 – Normas de especificações e ensaios para Agregados (Continuação)

Norma	Título	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 933-1	Análise granulométrica. Método de peneiração	Especifica um método para a análise granulométrica dos agregados, usando peneiros de ensaios.	O ensaio consiste na separação, por meio de peneiros, de um material em diversas classes granulométricas de dimensões decrescentes. A dimensão das malhas e o número de peneiros são escolhidas em função da natureza da amostra e da exactidão requerida. O método é a peneiração com lavagem, seguida de peneiração a seco. Quando a lavagem puder alterar as características físicas de um agregado leve, é necessário recorrer-se à peneiração a seco. A peneiração a seco pode ser aplicada para agregados isentos de partículas aglomeradas, mas em caso de litígio prevalece o método com lavagem.
EN 933-10	Avaliação dos finos. Granulometria a do filer. (Peneiração por jacto de ar)	Especifica um método para determinação da granulometria do filer através da peneiração por jacto de ar.	O ensaio consiste na divisão e separação, através de uma série de peneiros, de um filer, em diversas fracções granulométricas de dimensões decrescentes. Os peneiros de ensaio devem ter um aro redondo com um diâmetro nominal de 200mm e, cujas aberturas quadradas tenham dimensões correspondendo a 0,063mm; 0,125mm e 2mm, em conformidade com a Norma Europeia EN 933-2. O método adoptado é o método da peneiração por jacto de ar seco. A massa das partículas que passada em cada peneiro está relacionada com a massa inicial do material.
EN 1097-6	Determinação da massa volúmica e da absorção de água	Especifica métodos para a determinação da massa volúmica das partículas e da absorção de água dos agregados.	A massa volúmica das partículas é calculada a partir da razão entre a massa e o volume. A massa é determinada pela pesagem do provete com as partículas saturadas com superfície seca e a partir de outra pesagem do mesmo provete após secagem em estufa. O volume é determinado a partir da massa da água deslocada, quer pela redução de massa no método do cesto de rede metálica, quer por pesagens no método do picnómetro. No caso de o agregado compreender várias fracções granulométricas, é necessário separar a amostra em fracções de 0,063mm a 4mm, 4mm a 31,5mm e 31,5mm a 63mm, antes de proceder à preparação do provete. Esta norma especifica seis métodos de determinar a massa volúmica e a absorção de água dos agregados. Cinco métodos são aplicáveis a agregados correntes (fracções compreendidas entre 0,063mm e 63mm) e o sexto método aplica-se a agregados leves. Os métodos mais usuais são o do cesto para agregados entre 63 e 31,5mm e o do picnómetro para agregados entre 31,5 e 0,063mm.

(Continua)

Tabela 38 – Normas de especificações e ensaios para Agregados (Continuação)

Norma	Título	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 1097-7	Determinação da massa volúmica do filer. Método do picnómetro	Especifica o procedimento de ensaio para a determinação da massa volúmica do filer por meio de um picnómetro.	A massa volúmica das partículas é calculada a partir da razão entre a massa e o volume. A massa é determinada pela pesagem do provete. O volume é determinado a partir da massa da água deslocada no picnómetro.
EN 12697-11	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas – Parte 11: Determinação da afinidade entre o agregado e o betume	Esta norma Europeia especifica o método de ensaio para determinação da afinidade entre o agregado e o betume, expressa por registo visual do grau de revestimento das partículas de agregado de uma mistura betuminosa desagregada após a influência da agitação mecânica na presença de água.	Um agregado é peneirado, em conformidade com a norma EN 12697-2. A 8mm para 11,2mm (em alternativa, 5,6 mm a 8mm ou 6,3mm a 10mm) fracção é lavada, seca e misturado com betume para obter uma cobertura uniforme e total. Para o método descrito na parte A, o agregado de betume revestido é colocado livremente distribuído numa placa de metal ou silicone, armazenada à temperatura ambiente durante a noite, e em seguida, dividida em três amostras para análise. Cada parte de amostra é transferida para uma garrafa cheia de água. A garrafa é lacrada e colocada num frasco. As garrafas são enroladas em temperatura ambiente e numa velocidade específica. Em intervalos de tempo especificado o grau de cobertura de betume sobre as partículas do agregado é estimada visualmente por dois técnicos de forma independente. Para o método descrito na parte B, o agregado de betume revestido está imerso em água destilada 48h e o número de partículas que já não estão completamente revestidos avaliados. Para o método descrito na parte C, o agregado é peneirado, em conformidade com a norma EN 12697-2. A fracção de 7 mm a 14 mm (ou em alternativa, uma outra fracção) é lavada, seca e misturada com betume para obter uma cobertura uniforme e total. O agregado de betume revestido é sujeito a descascar em água a ferver sob condições específicas, usando um dispositivo simples, em que nenhum local pode ocorrer o super aquecimento. Pelo contacto com um reagente químico, cujo consumo é proporcional à superfície do revestimento do agregado, o grau de cobertura de betume é determinado com referência a uma curva de calibração estabelecida através de um processo bem definido. O reagente utilizado é o ácido clorídrico para agregados de calcário e ácido fluorídrico.

4.3.4 Norma de ensaio inicial tipo

Na tabela 39 identifica-se a norma de ensaio inicial tipo, a respectiva referência e título e descreve o respectivo objectivo desta norma. Esta norma é utilizada para saber quais os ensaios necessários a realizar nas misturas betuminosas.

Tabela 39 – Norma de ensaio inicial tipo

Norma	Título	Objectivo
EN 13108-20	Misturas betuminosas Especificações dos materiais Parte 20 – Ensaio tipo	Especifica o procedimento dos ensaios de tipo a utilizar para validação das misturas betuminosas destinadas a estradas, aeroportos e outras áreas de circulação.

4.3.5 Norma para controlo de produção

Na tabela 40 identifica-se a norma para controlo de produção, a respectiva referência e título e descreve o respectivo objectivo desta norma.

Tabela 40 – Norma para controlo de produção

Norma	Título	Objectivo
EN 13108-21	Misturas betuminosas Especificações dos materiais Parte 21 – Controlo da produção em fábrica.	Especifica os requisitos relativos à qualidade e ao controlo da produção em fábrica, que devem ser satisfeitos durante o fabrico das misturas betuminosas destinadas a serem utilizadas em estradas, aeroportos e outras áreas de circulação. Os ensaios adicionais efectuados no âmbito dos contratos encontram-se para além do âmbito de aplicação da presente norma. O controlo da produção em fábrica deve ser aplicada às normas europeias para as misturas betuminosas em caso de aposição da marcação regulamentar de conformidade. Constitui também uma parte necessária da avaliação da conformidade em situações em que a marcação regulamentar não se aplica. A presente norma aplica ao controlo das misturas betuminosas onde os constituintes e a fórmula da mistura são conhecidos e onde a conformidade com as especificações de composição, com os requisitos baseados no desempenho, ou com os relacionados com o desempenho como indicado nas normas EN 13108-1 e EN 13108-7, foi demonstrada através dos ensaios de tipo.

4.3.6 Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente

Na tabela 41 identificam-se as normas para misturas betuminosas preparadas a quente, a respectiva referência e título e descreve o respectivo objectivo desta norma

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente

Norma	Título	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-1	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas – Parte 1: Determinação do Conteúdo de ligante solúvel	Especifica os métodos de ensaio para determinação do conteúdo do ligante solúvel existente em amostras de misturas betuminosas. Os métodos de ensaio descritos são adequados para fins de controlo de qualidade durante a produção da mistura e à verificação da conformidade com a especificação do produto.	---
EN 12697-2	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas – Parte 2: Teor em ligante solúvel	Especifica um procedimento para a determinação da granulometria dos agregados de misturas betuminosas por peneiração. O ensaio é aplicável a agregados recuperados após a extracção do ligante, em conformidade com a norma EN 12697-1. A aplicabilidade dessa norma europeia está descrita nas normas de produtos para misturas betuminosas.	Consiste na determinação da granulometria dos agregados na mistura betuminosa por peneiração e pesagem. A análise granulométrica do agregado é realizada após a extracção do ligante.

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Título	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-3	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas – Parte 3: Recuperação de betume: evaporador rotativo	Especifica o método para recuperar o betume dissolvido de uma mistura betuminosa, para que possa ser usado em ensaios de caracterização posteriores. O procedimento só é adequado para a recuperação de pavimentos asfálticos, para os quais este padrão europeu é um método de referência. O processo de fraccionamento de coluna (ver EN 12697-4) é o método de referência para as misturas contendo matérias voláteis, como betume cut-back.	O betume é separado da amostra por dissolução em diclorometano (ou outro solvente adequado). Após a remoção de sólidos dissolvido da solução de betume, o betume é recuperado pela destilação de vácuo através de um evaporador rotativo. O betume está em solução menos de 24h.
EN 12697-4	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas – Parte 4: Recuperação de betume: fraccionamento de coluna	Especifica um método de ensaio para a recuperação de betume solúvel, a partir de misturas betuminosas de pavimentos de forma aceitável, para testes adicionais. O procedimento é adequado para a recuperação do pavimento asfáltico e também para as misturas contendo matérias voláteis, como betume cut-back, no entanto, os resultados podem ser menos precisos. Esta Norma Europeia é o método de referência para as misturas contendo matérias voláteis, mas o procedimento evaporador rotativo (ver EN 12697-3) é utilizado para as misturas com pavimento asfáltico.	O betume é separado da amostra por dissolução em diclorometano (ou outro solvente adequado). Após a remoção de sólidos dissolvido, a solução de betume é concentrada por destilação atmosférica numa coluna de fraccionamento. Os últimos vestígios de solvente são removidos do concentrado por destilação a uma temperatura de 100 ⁰ C acima do ponto de amolecimento esperado ou 175 ⁰ C, consoante o mais elevado, com a pressão reduzida da pressão atmosférica 100kPa a 20 kPa e com a ajuda de um fluxo de dióxido carbono. Quando os betumes cutback, contendo muitos fluxos voláteis, estão a ser recuperados, o dióxido de carbono está omissio.

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Título	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-5	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas – Parte 5: Determinação da densidade máxima	Especifica os métodos de ensaio para determinação da massa volúmica máxima de uma mistura betuminosa (massa sem vazios). É especificado um método volumétrico, um método hidrostático e um método matemático. Os métodos de ensaio descritos são destinados ao uso com misturas betuminosas perdidas contendo betume de pavimentação, ligantes alterados ou ligantes betuminosos utilizados para misturas asfálticas. Os ensaios são adequados, quer para as recentes ou antigas misturas betuminosas.	A massa volúmica máxima, em conjunto com a massa volúmica aparente, é utilizada para calcular o volume de vazios de uma amostra compactada e outras propriedades volumétricas relacionadas da mistura betuminosa compactada. O ensaio consiste num procedimento volumétrico e hidrostático a massa volúmica máxima das misturas betuminosas é determinada a partir do volume da amostra sem vazios e da sua massa seca. No procedimento volumétrico o volume da amostra é medido pelo deslocamento da água ou do solvente colocando-a no picnómetro. No procedimento hidrostático o volume da amostra é calculado a partir da massa seca da amostra e da sua massa dentro de água. No procedimento matemático a massa volúmica máxima da mistura betuminosa é calculada a partir da sua composição (conteúdo de betume e de agregados) e das massas volúmicas dos constituintes da mistura.

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Titulo	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-6	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas - Parte 6: Determinação da massa volúmica de provetes de misturas betuminosas	Esta norma Europeia descreve métodos de ensaio para determinar a massa volúmica aparente de um provete de betuminoso compactado. Pretende-se que os métodos de ensaio sejam aplicados em provetes compactados em laboratório ou em provetes provenientes de carotes retirados do pavimento após colocação e compactação. Esta norma descreve os quatro procedimentos que se seguem, a sua selecção depende do conteúdo e acessibilidade estimados para os vazios do provete: a) massa volúmica aparente – seca (para provetes com uma superfície muito fechada); b) massa volúmica aparente – saturada com superfície seca (SSD) (para provetes com uma superfície fechada); c) massa volúmica aparente – provete selado (fechado) (para provetes com uma superfície aberta ou grosseira); d) massa volúmica aparente através das dimensões (para provetes com uma superfície regular e com formas geométricas, isto é, quadradas (cubos), rectangulares (prismas), cilíndricas etc.	A massa volúmica aparente de um provete betuminoso compactado intacto é determinada a partir da massa do provete e do seu volume. A massa do provete é obtida por pesagem do provete seco ao ar. Para os primeiros três procedimentos o volume do provete é obtido a partir da sua massa seca ao ar e sua massa dentro de água. No procedimento seco a massa dentro de água é determinada sem pré-tratamento. No procedimento SSD o provete é primeiro saturado em água, posteriormente a sua superfície é seca com uma camurça húmida (pano húmido). No procedimento correspondente ao provete selado, o provete é selado antes da imersão em água para impedir o acesso da água aos vazios do provete. No quarto procedimento por dimensões o volume do provete é obtido por medição das dimensões.

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Titulo	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-7	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas – Parte 7: Determinação da densidade da amostra betuminosa por raios gama	<p>Especifica um método para medir a densidade de misturas do pavimento utilizando uma transmissão do tipo radiação gama. A aplicabilidade dessa norma europeia está descrita nas normas de produtos para misturas betuminosas. Esta norma aplica-se em amostras cilíndricas ou blocos (placas) preparados num laboratório, ou numa carote para a qual a espessura e o coeficiente de absorção de massa, que é uma função da composição química, é conhecida. A espessura da amostra atravessada pela radiação deve ser entre 30mm e 300mm. Este método não se aplica às misturas contendo escórias com teor de metais ou composição química variável que podem ser afectados, após a absorção de raios gama.</p>	<p>O método é baseado na absorção da radiação gama pelo material. Nas condições do ensaio descrito no presente Norma Europeia e de materiais, como misturas betuminosas, o método segue uma lei exponencial da seguinte fórmula:</p> $C = C_0 \exp(-K\mu'_{by}d).$

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Titulo	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-8	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas - Parte 8: Determinação das características de vazios da amostra betuminosa	<p>Esta norma Europeia descreve um procedimento para calcular duas características volumétricas de um provete compactado de mistura betuminosa: a percentagem de vazios (Vm) e a percentagem de vazios do esqueleto mineral de agregado preenchida pelo ligante (VFB).</p> <p>Este método é adequado para provetes que são compactados laboratorialmente ou provetes de carotes caroteadas após espalhamento e compactação.</p> <p>Estas características volumétricas podem ser utilizadas como critérios para concepção da mistura ou como parâmetros para avaliação da mistura após espalhamento e compactação na estrada</p>	---

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Titulo	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-11	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas – Parte 11: Determinação da afinidade entre o agregado e o betume	Esta norma Europeia especifica o método de ensaio para determinação da afinidade entre o agregado e o betume, expressa por registo visual do grau de revestimento das partículas de agregado de uma mistura betuminosa desagregada após a influência da agitação mecânica na presença de água.	<p>Um agregado é peneirado, em conformidade com a norma EN 12697-2. A 8mm para 11,2mm (em alternativa, 5,6 mm a 8mm ou 6,3mm a 10mm) fracção é lavada, seca e misturado com betume para obter uma cobertura uniforme e total. Para o método descrito na parte A, o agregado de betume revestido é colocado livremente distribuído numa placa de metal ou silicone, armazenada à temperatura ambiente durante a noite, e em seguida, dividida em três amostras para análise. Cada parte de amostra é transferida para uma garrafa cheia de água. A garrafa é lacrada e colocada num frasco. As garrafas são enroladas em temperatura ambiente e numa velocidade específica. Em intervalos de tempo especificado o grau de cobertura de betume sobre as partículas do agregado é estimada visualmente por dois técnicos de forma independente.</p> <p>Para o método descrito na parte B, o agregado de betume revestido está imerso em água destilada 48h e o número de partículas que já não estão completamente revestidos avaliados.</p> <p>Para o método descrito na parte C, o agregado é peneirado, em conformidade com a norma EN 12697-2. A fracção de 7 mm a 14 mm (ou em alternativa, uma outra fracção) é lavada, seca e misturada com betume para obter uma cobertura uniforme e total. O agregado de betume revestido é sujeito a descascar em água a ferver sob condições específicas, usando um dispositivo simples, em que nenhum local pode ocorrer o super aquecimento. Pelo contacto com um reagente químico, cujo consumo é proporcional à superfície do revestimento do agregado, o grau de cobertura de betume é determinado com referência a uma curva de calibração estabelecida através de um processo bem definido. O reagente utilizado é o ácido clorídrico para agregados de calcário e ácido fluorídrico.</p>

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Titulo	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-12	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas – Parte 12: Sensibilidade à água	<p>Esta norma Europeia descreve três métodos de ensaio para determinar o efeito da saturação do condicionamento acelerado em água. Estes métodos podem ser utilizados para avaliar o efeito da humidade com ou sem aditivos para a falta de adesividade incluindo líquidos, como aminas, filler, tal como cal hidráulica ou cimento:</p> <p>Método A – usa resistência à tracção indirecta de amostras cilíndricas de misturas betuminosas. Método B – usa resistência à compressão de amostras cilíndricas de misturas betuminosas.</p> <p>Método C – define o valor da junção das misturas de asfalto 1hora após a mistura, onde a junção de betume e agregado pode ser equiparada a um valor predefinido.</p>	<p>O ensaio consiste em três métodos: método A – um conjunto de provetes de ensaio cilíndricos é dividido em 2 subconjuntos de tamanho igual e condicionado. Um dos subconjuntos é mantido seco à temperatura ambiente, enquanto que o outro subconjunto é saturado e armazenado na agua em condições de temperatura elevada.</p> <p>Verificadas as exigências anteriores, a resistência à tracção indirecta de cada subconjunto é determinada de acordo com a EN 12697-23 à temperatura de ensaio especificada. A taxa da resistência à tracção indirecta do subconjunto saturado comparada com o subconjunto seco é determinada e expressa em percentagem.</p> <p>Método B – um conjunto de provetes de ensaio cilíndricos é dividido em 2 subconjuntos de tamanho igual e condicionado. Um dos subconjuntos é mantido a uma temperatura de 18°C e 50% de humidade enquanto que o outro subconjunto é saturado e armazenado na agua a uma temperatura de 18°C.</p> <p>Verificadas as exigências anteriores, a resistência à compressão de cada subconjunto é determinada a 18°C. A taxa da resistência à compressão do subconjunto saturado comparada com o subconjunto seco é determinada e expressa em percentagem.</p> <p>Método C – 1hora depois, 1000g de mistura de asfalto e 1500ml de água é misturado num copo de vidro graduado. A quantidade de material perdido é medido por filtragem. O valor da junção é a quantidade de agregado fino seco e betume deixado no papel de filtro, medido em gramas.</p>

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Título	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-16	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas – Parte 16: Abrasão com pneus com correntes	Especifica os métodos de ensaio (método A e método B) método para determinar a abrasão por pneus com correntes, testado em amostras cilíndricas de misturas betuminosas.	<p>Método A</p> <p>Uma amostra cilíndrica com um diâmetro de 100 milímetros e um comprimento de 30 milímetros é levado a uma temperatura de 5^oC. A amostra é usada durante a acção abrasiva durante 15min em 40 esferas de aço. A perda de volume, em mililitro é gravada e é relatado como o valor de abrasão.</p> <p>Método B Uma amostra cilíndrica com um diâmetro de 100 milímetros e um comprimento de pelo menos 45 milímetros é levada a uma temperatura de 5^oC.</p>
EN 12697-17	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura asfáltica – Parte 17: Determinação da perda da massa de provetes de betão betuminoso drenante (ensaio Cântabro)	Especifica um método de ensaio para a determinar a perda de partículas em misturas de “porous asphalt”. A perda de partículas é avaliada pela perda de massa em amostras de “porous asphalt” depois de retirada da máquina de Los Angeles. Este ensaio permite estimar a abrasividade de “porous asphalt”. O ensaio aplica-se a misturas de “porous asphalt” compactadas em laboratório e cuja máxima dimensão não excede os 25 mm. Este não reflecte o efeito abrasivo dos pneus com correntes.	---

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Titulo	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-18	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura asfáltica – Parte 18: Ligante drenante	<p>Especifica dois métodos de ensaio: método da cesta e método de Schellenberg. O método da cesta, descreve um método para a determinação de drenagem ligante das misturas betuminosas. Este método mede directamente a drenagem ligante, mas quando realizado em misturas betuminosas com fibras ou misturas com um teor de argamassa é maior do que no asfalto poroso, onde algum entupimento dos buracos nas cestas de drenagem pode ocorrer, limitando a drenagem do ligante. O método da cesta pode ser usado, tanto para a determinação do teor de ligante para drenagem, ou com um teor de ligante único, eliminando repetições sucessivas. Também permite os efeitos dos diversos tipos de agregado, incluindo qualquer aditivo anti-drenagem a ser quantificado.</p> <p>O método Schellenberg descreve um método para determinar a drenagem ligante das misturas betuminosas. É aplicável aos materiais de asfalto que não são de asfalto poroso ou para asfalto poroso incorporando fibras. Pode ser usado tanto para a determinação do teor de ligante para drenagem, ou com um conteúdo único para eliminar as repetições sucessivas. Também permite que os efeitos dos diversos tipos de agregado, incluindo qualquer aditivo anti-drenagem a ser quantificado.</p>	A quantidade de material perdido por drenagem, depois de 3h à temperatura de ensaio é medida em misturas colocadas em cestas feitas de metal perfuradas.

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (continuação)

Norma	Título	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-19	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas - Parte 19: Permeabilidade e da amostra	Especifica um método para determinar a permeabilidade vertical e horizontal de provetes cilíndricos de misturas betuminosas. A norma aplica-se a provetes carotados retirados do pavimento (estrada), provetes de placas realizadas em laboratório ou de provetes preparados em laboratório com um equipamento de compactação que proporcione uma espessura do provete não inferior a 2,5 vezes a dimensão nominal máxima do agregado da mistura. O diâmetro nominal dos provetes deve ser ou de 100 mm ou de 150 mm, excepto quando a dimensão nominal máxima do agregado exceda (ultrapasse) os 22 mm, o diâmetro nominal deve ser de 150 mm.	Uma coluna de água com uma altura constante é aplicada a um provete cilíndrico e permite-se a passagem através do provete por um tempo controlado ou segundo a direcção vertical ou horizontal dependendo do parâmetro a ser calculado. O Caudal de água resultante Q_v ou Q_h é uma medida calculada do valor de permeabilidade K_v ou K_h . O ensaio é realizado à temperatura ambiente.
EN 12697-20	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas - Parte 20: Teste de penetração usando provetes cúbicos ou Marshall	Esta norma europeia descreve um método de ensaio para determinar a profundidade de recuo do mástique e asfalto laminados, quando a força lhes é aplicada através do pino cilíndrico com uma base circular de ponta plana Esta norma europeia aplicada para agregados com tamanho máximo igual ou inferior a 16 mm.	---

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (continuação)

Norma	Título	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-21	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas – Parte 21: Teste de penetração usando um provete rectangular	Esta norma europeia descreve alguns métodos de ensaio para medir a recuo do mástique quando é penetrado a uma dada temperatura, a uma determinada carga e um período de tempo, fixado por um pino cilíndrico com uma base circular de ponta plana. Esta norma europeia aplicável ao mástique com agregados de dimensão nominal máxima inferior ou igual a 16 mm.	---
EN 12697-22	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura betuminosas – Parte 22: Ensaio de pista	Esta norma europeia descreve os métodos de ensaio para determinar a susceptibilidade de materiais betuminosos para deformar sob carga. O ensaio é aplicável a misturas com o tamanho do peneiro superior, inferior ou igual a 32 mm. Os ensaios são aplicáveis às amostras que, quer tenham sido fabricadas num laboratório ou corte de um pavimento. As amostras são mantidas num molde com a superfície nivelada com a borda superior do molde. A susceptibilidade de materiais Betuminoso para deformar é avaliada pelo sulco, formado por passagens repetidas de uma roda carregada a uma temperatura constante. Três tipos alternativos de dispositivos podem ser usados de acordo com este padrão: Dispositivos de tamanho: grande, muito grande e pequenos. Com dispositivos de tamanho grande e muito grande, as amostras são condicionadas ao ar durante o ensaio.com as pequenas, as amostras são condicionadas ao ar ou à água.	A susceptibilidade para deformar um material betuminoso é avaliada através da medição da profundidade de sulco formado por passagens repetidas de uma roda carregada a uma temperatura fixa

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Titulo	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-24	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura asfáltica – Parte 24: Resistência à fadiga	<p>Especifica os métodos para a caracterização da fadiga de misturas betuminosas através de ensaios alternativos, incluindo testes de flexão e ensaios de tracção directa e indirecta. Os testes são realizados em material betuminoso compactado sob um carregamento sinusoidal ou carga controlada, utilizando diferentes tipos de amostras e suporte.</p> <p>O procedimento é utilizado para classificar as misturas betuminosas com base na resistência à fadiga, como um guia para o desempenho relativo no pavimento, para obter dados para estimar o comportamento estrutural na estrada e para analisar dados de ensaio, de acordo com as especificações para misturas betuminosas.</p> <p>Como este documento não impõe um determinado tipo de dispositivo de ensaio, a escolha acertada das condições de ensaio depende das possibilidades e do intervalo de trabalho do dispositivo utilizado. Para a escolha das condições de ensaios específicos, os requisitos das normas de produto para misturas betuminosas devem ser respeitados. A aplicabilidade destes documentos é descrita nas normas do produto para misturas betuminosas. Os resultados obtidos por métodos de ensaio diferentes não são certos para ser comparáveis.</p>	---

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Título	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-25	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura asfáltica – Parte 25: Teste cíclico de compressão	<p>Esta norma europeia descreve dois métodos de ensaio (A e B) para determinar a resistência das misturas Betuminoso à deformação permanente.</p> <p>Método de ensaio A descreve o método para determinar as características de fluência de misturas betuminosas por meio de um teste de compressão uniaxial cíclico com algumas limitações. Neste ensaio a amostra cilíndrica é submetida a uma tensão cíclica axial. Para atingir um certo confinamento, o diâmetro do prato utilizado é menor do que a amostra.</p> <p>Método de ensaio B descreve o método para determinar as características de fluência de misturas Betuminosas por meio do ensaio de compressão triaxial cíclico. Neste ensaio uma amostra cilíndrica é submetida a uma tensão confinante e uma tensão axial cíclica. Este ensaio é frequentemente utilizado para efeitos de avaliação e desenvolvimento de um novo tipo de misturas.</p> <p>Esta norma europeia aplicável às amostras preparadas no laboratório ou “in-situ”. O tamanho máximo dos agregados é de 32 mm.</p>	<p>Este método de ensaio determina a resistência à deformação permanente de um modelo cíclico da mistura betuminosa pela carga repetida. As amostras podem ser ambas preparadas no laboratório ou retiradas do interior de um pavimento.</p> <p>Um provete cilíndrico com um diâmetro de 150mm, mantido em temperatura de condicionamento elevada, é colocado entre dois rolos de carga paralelos.</p> <p>Durante o ensaio, a mudança na altura da amostra é medida num determinado número de aplicações de carga. A partir daí, a tensão axial (deformação permanente) do provete é determinada em função do número de aplicação de carga.</p>

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Titulo	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-26	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura asfáltica – Parte 26: Rigidez	<p>Este documento especifica os métodos para a caracterização da rigidez de misturas betuminosas através de ensaios alternativos, incluindo ensaios de flexão e de ensaios directos ou indirectos de tracção. Os ensaios são realizados em materiais betuminosos compactados sob um carregamento sinusoidal ou outras cargas controladas, utilizando diferentes tipos de amostras e suporte.</p> <p>O procedimento é utilizado para classificar as misturas betuminosas com base na rigidez, como um guia para o desempenho relativo no pavimento, obtendo dados para estimar o comportamento estrutural na estrada, e para analisar dados de ensaio, de acordo com as especificações para misturas betuminosas.</p> <p>Como esta norma não impõe um determinado tipo de dispositivo de ensaio, a escolha objectiva das condições de ensaio, depende das possibilidades e do intervalo de trabalho do dispositivo utilizado.</p> <p>Para a escolha das condições de ensaio específico, os requisitos das normas de produto para misturas betuminosas devem ser respeitados.</p> <p>A aplicabilidade deste documento é descrita nas normas do produto para as misturas betuminosas</p>	De forma adequada as amostras são deformadas numa escala linear, sob cargas repetidas ou cargas com taxas controladas de deformação. As amplitudes da tensão e a tensão são aferidas, juntamente com a diferença de fase entre tensão e deformação

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Título	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-30	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura asfáltica – Parte 30: Preparação da amostra por compactador de impacto	Especifica métodos para moldar provetes de misturas betuminosas por compactação de impacto. Estes provetes são principalmente usados para determinar a massa volúmica aparente e outras características tecnológicas, e.x., estabilidade e deformação Marshall de acordo com EN 12697-34. Esta norma Europeia é aplicada a misturas betuminosas (ambos podem ser realizados em Laboratório e resultam da amostragem in situ), com a dimensão máxima do agregado não superior a 22,4 mm.	Para preparar os provetes, a mistura betuminosa a quente, quer seja misturada no momento de acordo com a prEN 12697-35 ou quer seja recolhida na obra ou na central de acordo com a EN 12697-27, é transferida para um molde especificado de compactação em aço. A mistura é depois compactada num dos compactadores especificados de impacto após se deixar deslizar a massa de uma altura especificada, com um número de pancadas especificado e dentro de um tempo especificado sobre o pé do martelo, situado na parte superior do provete. O provete é posteriormente arrefecido à temperatura ambiente.

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Titulo	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-31	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura asfáltica – Parte 31: Preparação da amostra por compactador giratório	<p>Especifica o método para a compactação de provetes cilíndricos de misturas betuminosas utilizando um compactador giratório. Esta compactação é efectuada por combinação de um corte giratório e por uma força resultante vertical aplicada por uma cabeça mecânica.</p> <p>O método pode ser utilizado para:</p> <p>a) Determinação do conteúdo de vazios da mistura para um dado número de rotações;</p> <p>b) Obtenção da curva de massa volúmica versus o número de rotações;</p> <p>c) Preparação dos provetes de uma dada altura com uma massa volúmica pré-determinada, para posteriormente serem testadas as suas propriedades mecânicas.</p> <p>Para as alíneas a) e b), o procedimento baseado no desempenho do anexo A especifica uma sequência de calibração para que o resultado do ensaio, deva ser independente do tipo de compactador giratório utilizado.</p> <p>Para o descrito na alínea c) pode não ser necessária a conformidade com o anexo A.</p> <p>Esta norma Europeia é aplicada a misturas betuminosas (quer as fabricadas em laboratório quer as resultantes da amostragem no local da obra), com a dimensão máxima do agregado não superior a 31,5 mm.</p>	<p>A mistura betuminosa está contida dentro de um molde cilíndrico limitado por inserções e mantido a uma temperatura constante dentro das tolerâncias especificadas durante todo o período do ensaio.</p> <p>A compactação é obtida pela acção simultânea de uma baixa compressão estática, e da acção de corte resultante do movimento do eixo do provete que gera uma superfície cónica de rotação, enquanto as extremidades da peça de teste permanecem aproximadamente perpendicular ao eixo da superfície cónica.</p>

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Titulo	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-32	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura asfáltica – Parte 32: Compactação de misturas betuminosas pelo compactador vibratório	Esta norma europeia descrever um método de ensaio para a preparação de amostras betuminosas usando uma técnica de compactação vibratória. Esta norma Europeia é aplicável às misturas soltas e núcleos, e é usado para estabelecer uma densidade de referência para uma mistura betuminosa, de acordo com procedimentos descritos na EN 12697-9, ou a facilidade de compactação como é descrito na EN 12697-10.	Após a preparação da mistura, e condicionamento de amostras betuminosas em laboratório, o aquecimento de um núcleo extraído da superfície da estrada até a temperatura de compactação, ou o condicionamento do material misturado, o material ou o núcleo é colocada num molde padrão com base em anexo de chapa e alonga, é compactado por um martelo vibratório. Se necessária a amostra é compactada para rejeição e a densidade rejeição é determinada de acordo com EN 12697-9. Após a conclusão da compactação, a densidade da amostra compactada é determinado de acordo com EN 12697-6.
EN 12697-34	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura asfáltica – Parte 34: Ensaio Marshall	Especifica um método de ensaio para determinar os valores da estabilidade, deformação e quociente Marshall de provetes de misturas betuminosas misturadas de acordo com a EN 12697-35 e preparados de acordo com o método do compactador de impacto de acordo com a EN 12697-30. Limita-se a misturas de betão betuminoso denso ou Hot Rolled Asphalt.	Os provetes Marshall são compactados de acordo com a EN 12697-30. A estabilidade Marshall, deformação e quociente são subsequentemente determinados nestes provetes usando procedimentos definidos e descritos juntamente com a baridade do provete.

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Titulo	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-35	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura asfáltica – Parte 35: Misturas betuminosas. Mistura em laboratório.	Especifica o método para misturas em laboratório de materiais betuminosos para o fabrico de provetes. Esta pré-norma Europeia especifica a temperatura de referência para mistura baseada na classe de penetração do betume. A mistura betuminosa é preparada a uma temperatura alvo durante de um tempo que é limitado para reduzir a degradação mecânica dos agregados. A temperatura depende da classe de penetração do betume.	A mistura betuminosa é preparada a uma temperatura alvo dentro de um tempo que é limitado, a fim de reduzir a degradação mecânica dos agregados. A temperatura depende do grau de betume.

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Titulo	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-39	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura asfáltica – Parte 39: Conteúdo de ligante por ignição	Este documento descreve um método de ensaio para a determinação do teor de ligante de amostras de misturas betuminosas por ignição. Contudo, esta é uma alternativa ao método mais tradicional de extracção do ligante utilizando solventes. O método pode ser utilizado para avaliação da composição da mistura porque o agregado restante pode ser utilizado para determinar a granulometria do agregado e a massa volúmica desde que a quebra excessiva das partículas de agregado não ocorra à temperatura atingida. Os resultados podem ser usados para controlo do processo ou verificação da conformidade das misturas. Contudo, a necessidade de calibração da mistura ou dos seus materiais constituintes antes de uma análise pode ser efectuada tornando este método mais fácil para usar em misturas utilizadas regularmente do que uma gama extensa de diferentes misturas de agregados de diferentes proveniências. O método de ensaio é igualmente adequado para análise de misturas constituídas por ligantes modificados ou não, pois o método tem que ser calibrado para cada mistura que está a ser verificada quando é utilizada a calibração de misturas. Em caso de dúvida, a determinação do valor de calibração baseado em misturas betuminosas preparadas em laboratório é o método de referência.	O método de ensaio determina o teor de ligante de misturas betuminosas por ignição da mistura num forno. O teor de ligante é obtido através de um calculo que inclui um termo de calibração. Os termos de calibração são determinados para misturas ou agregados específicos. São descritos dois métodos de ensaio; O Método A utiliza um forno com uma balança interna; O método B permite a utilização de um forno e uma balança externa. A redeterminação (recalibração, ou recálculo dependendo do método de calibração escolhido do Anexo A) deve ser garantida (efectuada) para cada alteração na mistura, incluindo alterações nos materiais constituintes ou nas suas proporções (quantidades).

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Titulo	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-41	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura asfáltica – Parte 41: Resistência ao degelo de fluidos	Especifica um método de ensaio para determinar a resistência de materiais betuminosos para degelo fluidos. O procedimento determina a superfície de resistência à tracção de uma amostra de asfalto após armazenamento em degelo fluido. Esta Norma Europeia é usada principalmente como um teste em asfalto em aeródromos, mas pode ser usada para o asfalto a ser utilizado em estradas ou em outras áreas pavimentadas.	Ensaio realizado numa amostra cilíndrica em que uma superfície de ensaio bem definida foi perfurada na mistura betuminosa a uma profundidade de cerca de 5 mm. Quatro amostras são armazenadas e quatro não são armazenadas no degelo fluido. A chapa de aço é ligada à superfície de ensaio de cada amostra. Durante os ensaios, a placa é puxada para fora com uma força de tracção a aumentar a uma taxa de 200N / s, sendo a força perpendicular à superfície da amostra de teste. A força de tracção de carga falha, e o modo de falha são registados. Os resultados são comparados com as amostras que não tenham sido armazenadas em degelo fluido.

(Continua)

Tabela 41 – Normas de ensaio para Misturas Betuminosas preparadas a quente (Continuação)

Norma	Titulo	Objectivo	Princípio de Ensaio
EN 12697-43	Misturas betuminosas - Métodos de ensaio para mistura asfáltica – Parte 43: Resistência ao combustível	<p>Esta norma Europeia descreve o método de ensaio para determinar a resistência de misturas ou de pavimentos betuminosos aos combustíveis.</p> <p>O procedimento implica uma imbibição inicial de provetes de ensaio realizados em laboratório ou de carotes de um pavimento no combustível, seguida de um período de escovagem com uma escova de aço montada num misturador. O material perdido do provete é uma medida de resistência dessa mistura betuminosa a esse combustível.</p>	<p>Um provete de ensaio cilíndrico de massa conhecida é em parte imerso num banho com o combustível especificado num período de tempo especificado. Para misturas betuminosas com betume de pavimentação este período é de 24h; para misturas com betume modificado com polímeros o período usado é de 72h. Após remoção do banho, limpar com água e secar durante 24h numa estufa ventilada a 25 °C, a perda de massa do provete é medida e a superfície imersa é inspeccionada visualmente. O tipo de afectação e a perda de material da superfície imersa são também registados.</p> <p>De seguida o provete de ensaio é colocado num molde de aço com a superfície imersa para cima. No fundo do provete (a outra extremidade) um cilindro pneumático empurra a superfície imersa contra uma escova de aço, que se move em passagens epicíclicas sobre a superfície. Após 30 s a escovagem pára e o provete é removido do molde. A seguir a perda de massa é medida e a superfície escovada é inspeccionada visualmente. Após isto, o provete é novamente colocado no molde e repete-se o mesmo procedimento após 30 s e após 60 s, sendo a superfície escovada novamente visualmente inspeccionada.</p>

4.3.7 Norma de ensaio para classificação ao fogo

Na tabela 42 identifica-se a norma para classificação ao fogo, a respectiva referência, título e descreve o respectivo objectivo desta norma.

Tabela 42 – Norma de ensaio para classificação ao fogo

Norma	Titulo	Objectivo
EN 13501-1	Classificação utilizando resultados de ensaios de reacção ao fogo.	Esta norma europeia prevê a reacção ao fogo, no processo de classificação de todos os produtos de construção, incluindo produtos incorporados em elementos de construção. Os produtos são considerados em relação à sua utilização final. Este documento aplica-se a três categorias, que são tratados separadamente nesta norma europeia: Produtos de construção, excluindo pavimentos e tubos de isolamento térmico; pavimentos; tubos de isolamento térmico.

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE FORMULAÇÃO DE UMA MISTURA BETUMINOSA

5 Estudo de Formulação de uma Mistura Betuminosa

5.1 Metodologia

O objectivo de um estudo Marshall consiste na determinação de uma fórmula de trabalho de modo a ser possível obter a percentagem óptima de betume e avaliação, ao mesmo tempo, das percentagens dos restantes componentes da mistura.

Os constituintes gerais de uma mistura betuminosa para a realização de um Estudo Marshall são:

- Pó de Britagem;
- Agregado;
- Filer; e
- Betume.

Com o objectivo de serem utilizados na composição da mistura betuminosa, os constituintes têm que cumprir um determinado número de características impostas pelo caderno de encargos, sendo necessário realizar os ensaios, apresentados na tabela 43:

Tabela 43 – Tipo de ensaios a realizar para os vários materiais

Designação		Ensaios a realizar
Agregados	Pó de Britagem	Análise granulométrica (JAE S8-53) Peso específico e absorção de água (ASTM C 127; ASTM C 128) Equivalente de areia (LNEC E 199) Azul metileno (NF P 18-592)
	Britas	Análise granulométrica (JAE S8-53) Peso específico e absorção de água (ASTM C 127; ASTM C 128) Índice de alongamento e lamelação (BS 812) Desgaste de Los Angeles (LNEC E 237)
Cal		Análise granulométrica (LNEC E 234) Massa volúmica (LNEC E 64) Superfície específica (LNEC E 65)
Betume		Penetração de betumes (NP 82) Ponto de anel & bola (ASTM D 36) Densidade relativa do betume (LNEC E 35) Ponto de inflamação /Combustão Cleveland (LNEC E 36) Perda por aquecimento 163 °C (LNEC E 37) Perda de penetração após aquecimento (NP 82) Viscosidade de Brookfield (AASHTO TP 48) Recuperação elástica por torção (NLT 329) (só se for modificado)

Através da execução de ensaios de análise granulométrica aos diferentes constituintes minerais da mistura, determina-se uma curva granulométrica ponderada (mistura seca de agregados) que deverá cumprir o fuso granulométrico imposto pelo caderno de encargos.

Com o objectivo de determinar a percentagem óptima de betume são moldados provetes, fazendo variar 0,5% a percentagem de ligante adicionado em duas percentagens acima e duas percentagens abaixo, em torno da percentagem óptima expectável para a mistura em estudo.

Para cada provete deve ser realizada uma mistura de agregados para cada percentagem de betume, sendo cada provete compactado com uma determinada energia através de pancadas induzidas por um pilão e que se encontram definidas no caderno de encargos em função do tipo de mistura a formular.

A temperatura de mistura e a compactação é determinada através do ensaio de viscosidade de Brookfield (AASHTO TP 48), realizado no betume com um intervalo de temperatura de $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Sobre a mistura betuminosa e sobre os provetes moldados são realizados diversos ensaios com o objectivo de determinar as seguintes características:

- Baridade máxima teórica;
- Baridade hidrostática dos provetes; e
- Compressão Marshall.

As restantes propriedades volumétricas: i) índices de vazios; ii) porosidade; iii) teor volumétrico de betume; iv) volume de vazios do agregado mineral; e v) grau de saturação em betume, são calculadas matematicamente através dos resultados obtidos nos ensaios indicados anteriormente.

A percentagem óptima de betume é determinada através de uma média da percentagem de betume correspondente à baridade máxima da mistura, da percentagem de betume correspondente ao valor médio do intervalo de porosidade e da percentagem de betume correspondente à carga de rotura máxima.

Após a determinação da percentagem óptima deve-se verificar para este valor o cumprimento dos requisitos impostos no caderno de encargos para a mistura em estudo.

A fórmula de trabalho é determinada através do ajuste da fórmula da mistura seca em função da percentagem óptima de betume determinada, consoante os constituintes da mistura.

5.2 Estudo de formulação da Mistura Betuminosa Densa

Descreve-se, em seguida, os resultados de formulação da mistura betuminosa densa em estudo, bem como os respectivos valores obtidos para cada uma das propriedades determinadas.

Na tabela 44 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de análise granulométrica para cada um dos agregados utilizados na formulação da mistura.

Tabela 44 – Análise granulométrica dos agregados

Peneiros ASTM		Pó 0/6 (% passados)	Agregado 6/14 (% passados)	Agregado 14/20 (% passados)
25,0mm	1"	100,0	100,0	100,0
19,0mm	¾"	100,0	100,0	89,0
12,5mm	½"	100,0	78,8	14,7
4,75mm	Nº 4	93,8	1,8	0,4
2,00mm	Nº 10	71,9	1,3	0,4
0,425mm	Nº 40	31,6	0,9	0,3
0,180mm	Nº 80	17,0	0,7	0,3
0,075mm	Nº 200	8,5	0,6	0,2

No que se refere ao fuso granulométrico imposto pelo caderno de encargos, indicado na tabela 45, e após determinação das curvas granulométricas de cada material, executou-se um pré dimensionamento da mistura seca de agregados, obtendo-se as seguintes percentagens ponderadas para cada um dos agregados tal como se apresenta na tabela 46 e figura 11.

Tabela 45 – Fuso granulométrico imposto pelo caderno d encargos

Peneiros ASTM		Curva da mistura	% de Material Passado
25,0mm	1"	100	100
19,0mm	¾"	98	85-100
12,5mm	½"	81	73-87
4,75mm	Nº 4	54	45-60
2,00mm	Nº 10	42	32-46
0,425mm	Nº 40	20	16-27
0,180mm	Nº 80	12	9-18
0,075mm	Nº 200	7	5-10

Tabela 46 – Percentagens da composição dos vários materiais

Peneiros ASTM		Agregado para a composição			
Designação	Abertura (mm)	Pó 0/6	Agregado 6/14	Agregado 14/20	Cal hidráulica
1"	25	100,0	100,0	100,0	100,0
3/4"	19	100,0	100,0	89,0	100,0
1/2"	12,5	100,0	78,8	14,7	100,0
Nº4	4,75	93,8	1,8	0,4	100,0
Nº10	2	71,9	1,3	0,4	100,0
Nº40	0,425	31,6	0,9	0,3	99,9
Nº80	0,18	17,0	0,7	0,3	97,3
Nº200	0,075	8,5	0,6	0,2	81,8
% Composição		55	27	16	2

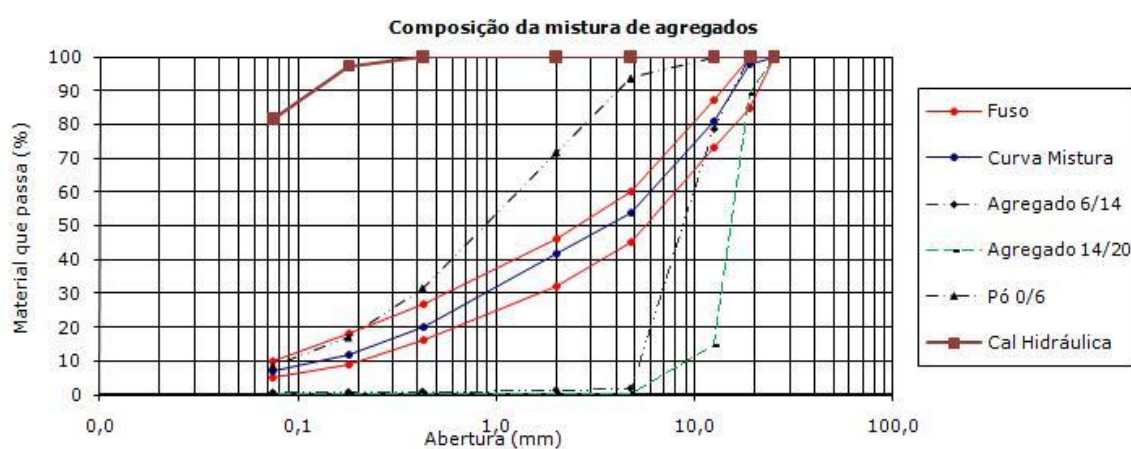


Figura 11 – Fusão granulométrica da curva da mistura

Na tabela 47 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de caracterização de cada um dos agregados utilizados na mistura.

Tabela 47 – Resultados dos ensaios realizados aos agregados

Ensaio	Norma	Resultados		
		Pó 0/6	Agregado 6/14	Agregado 14/20
Perda por desgaste na máquina de Los Angeles (granulometria B) (%)	LNEC E 237	---	31	---
Índice de lamelação (%)	BS 812	---	12	6
Índice de alongamento (%)		---	24	17
Equivalente de areia (%)	LNEC E 199	75	---	---
Azul metileno (g/100g finos)	NF P 15-592	0,44	---	---
Absorção de água para cada uma das fracções granulométricas (%)	ASTM C 127 ASTM C 128	0,96	0,58	0,59

Em função dos resultados obtidos, apresenta-se na tabela 48 a verificação da conformidade dos requisitos impostos pelo caderno de encargos para agregados a utilizar na formulação da mistura betuminosa densa.

Tabela 48 – Verificação da conformidade dos requisitos impostos no caderno de encargos para os agregados

Ensaio	Norma	Resultados			Especificações do caderno de encargos
		Pó 0/6	Agregado 6/14	Agregado 14/20	
Perda por desgaste na máquina de Los Angeles (granulometria B) (%)	LNEC E 237	---	31	---	≤35
Índice de lamelação (%)	BS 812	---	12	6	≤30
Índice de alongamento (%)		---	24	17	
Equivalente de areia (%)	LNEC E 199	75	---	---	≥50
Azul metileno (g/100g finos)	NF P 15-592	0,44	---	---	≤0,8
Absorção de água para cada uma das fracções granulométricas (%)	ASTM C 127 ASTM C 128	0,96	0,58	0,59	≤3

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que os agregados utilizados cumprem todos os requisitos estabelecidos pelo caderno de encargos, estando em conformidade para serem aplicadas na formulação da mistura.

Nas tabelas 49 e 50 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de caracterização da cal hidráulica utilizada na mistura.

Tabela 49 – Análise granulométrica da cal

Peneiros ASTM		Cal Hidráulica (% passados)
0,850mm	Nº 20	100,0
0,425mm	Nº 40	99,9
0,180mm	Nº 80	97,3
0,075mm	Nº 200	81,8

Tabela 50 – Resultados dos ensaios realizados

Ensaio	Resultado
Massa volúmica LNEC E 64	2,68 g/cm ³
Superfície específica	9390 cm ² /g

Foi utilizado na formulação da mistura betuminosa um betume 35/50. Na tabela 51 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados sobre o ligante.

Tabela 51 – Resultados dos ensaios realizados no ligante (betume 35/50)

Ensaio	Resultados
Penetração de ligantes betuminosos EN 1426	Penetração = 36 mm
Temperatura de amolecimento EN 1427	Temperatura A&B = 51,5 °C
Peso específica JAE P.3-53	G = 1,044 g/cm ³
Viscosidade ASTM TP 48	Temperatura de mistura = 158 °C
	Temperatura de compactação = 148 °C
RTFOT: Perda por aquecimento ASTM D 2872	Perda por aquecimento = 0 %
Penetração de ligantes betuminosos EN 1426	Penetração = 29 mm Nota: Após perda por aquecimento na RTFOT
Temperatura de amolecimento EN 1427	Temperatura A&B = 55,5 °C Nota: Após perda por aquecimento na RTFOT

Com vista à preparação e moldagem dos provetes, consideram-se percentagens de betume fazendo variar as mesmas entre 4,0% e 6,0% com incrementos de 0,5%.

Foram moldados quatro provetes por percentagem de betume. A temperatura de mistura foi de 158°C e a temperatura de compactação 148°C, de acordo com os valores obtidos no ensaio de viscosidade.

Após a moldagem dos provetes foram realizados sobre os mesmos os seguintes ensaios: i) baridade máxima teórica da mistura; ii) baridade hidrostática e iii) compressão Marshall.

Nas tabelas 52, 53 e na figura 12 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos provetes, necessários para a determinação da percentagem óptima de betume.

Tabela 52 – Várias características para as diferentes percentagens de betume

Betume	Baridade					Baridade Máxima Teórica	Propriedades Volumétricas					Compressão Marshall				
	P _{ar}	P _{água}	P _{sss}	Baridade	Média		Índice Vazios	Porosidade	TVB	VMA	GSB	Força de rotura		Deformação		
P _b	A	B	C	$\frac{A}{C-B} \cdot K$	g	γ_t	e	n	c _b	ni	S _b	Leitura	Média		Leitura	Média
%	g	g	g	0,01g/cm ³	0,01g/cm ³	0,01g/cm ³	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	kN	N	kgf	0,1 mm	0,1 mm
4,0	1194,2	683,1	1195,0	2,337	2,342	2,499	6,7	6,3	8,9	15,2	58,4	18,40	19158	1954	2,7	2,3
	1195,5	684,4	1195,9	2,341								19,36			2,1	
	1196,7	686,0	1197,1	2,345								20,32			2,1	
	1189,2	681,6	1190,0	2,343								18,55			2,1	
4,5	1192,2	686,7	1192,5	2,361	2,362	2,485	5,2	4,9	10,0	15,0	67,0	20,29	20040	2044	2,5	2,4
	1194,3	686,4	1194,6	2,354								19,15			2,3	
	1192,9	689,4	1193,2	2,372								20,55			2,4	
	1195,0	689,1	1195,8	2,362								20,17			2,3	
5,0	1196,4	692,5	1197,5	2,373	2,378	2,460	3,4	3,3	11,2	14,7	77,2	18,27	18945	1932	2,5	2,6
	1196,9	695,0	1198,0	2,384								19,91			2,7	
	1194,0	688,7	1194,1	2,367								17,46			2,6	
	1195,6	694,4	1195,7	2,389								20,14			2,6	
5,5	1193,6	694,1	1193,7	2,393	2,391	2,449	2,4	2,4	12,4	14,8	83,9	19,53	18135	1850	2,8	2,9
	1191,8	692,1	1192,5	2,386								16,32			3,4	
	1188,1	692,0	1188,2	2,398								18,32			2,7	
	1193,2	692,8	1193,8	2,386								18,37			2,8	
6,0	1176,9	686,3	1177,1	2,402	2,396	2,431	1,5	1,5	13,6	15,0	90,3	18,62	16270	1660	3,7	3,5
	1184,0	689,4	1184,1	2,397								15,51			3,3	
	1190,8	692,7	1191,1	2,393								16,27			3,6	
	1191,1	692,1	1191,3	2,390								14,68			3,3	

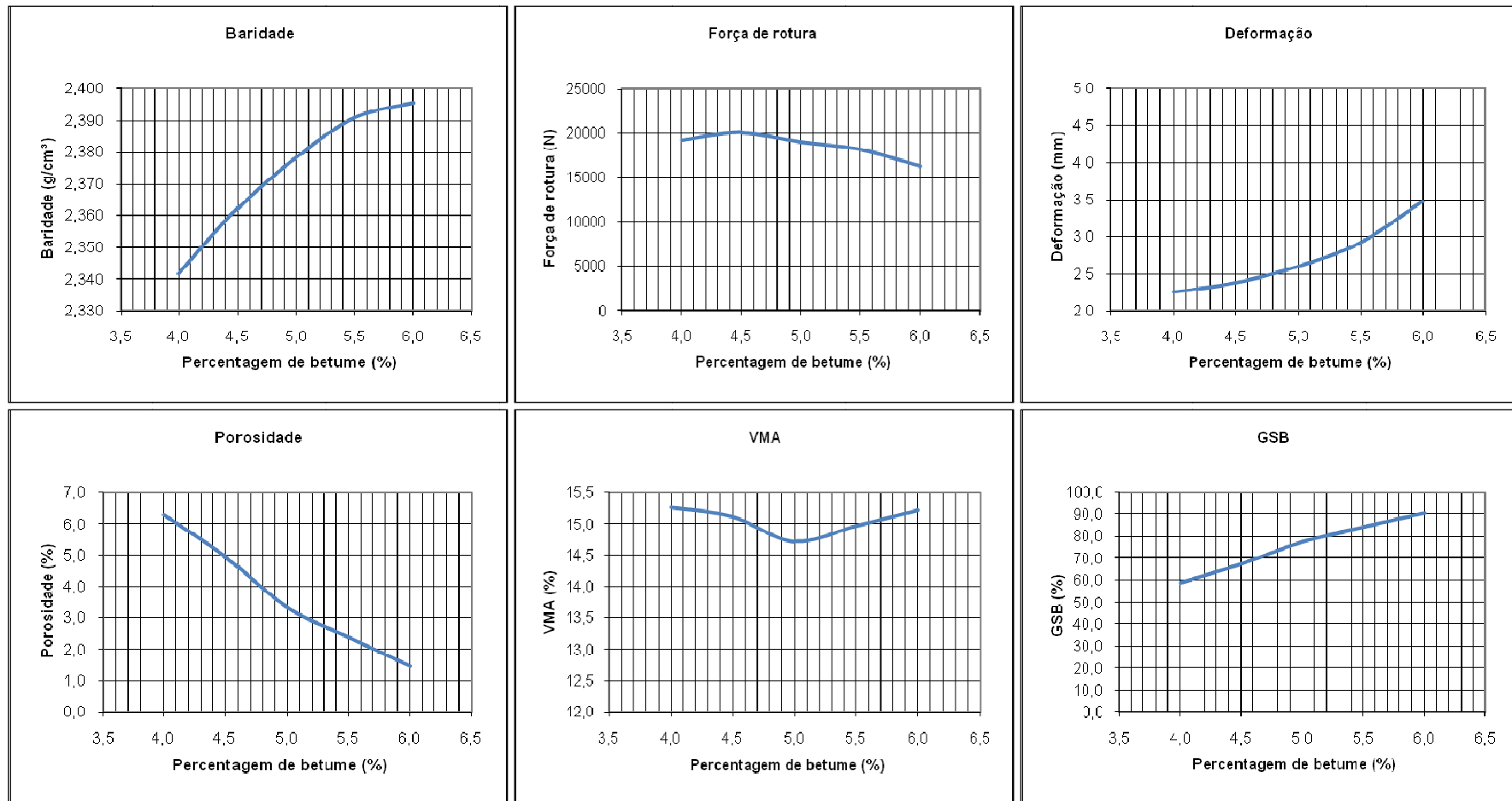


Figura 12 – Apresentação dos gráficos do estudo Marshall

Tabela 53 – Resistência conservada

Betume	Provetes	Baridade					Baridade Máxima Teórica	Porosidade	Compressão Marshall				IRC	
		P _{ar}	P _{água}	P _{sss}	Baridade	Média			Força de rotura		Deformação			
		A	B	C	$\frac{A}{C-B} \cdot K$	g			Leitura	Média	Leitura	Média		
%	g	g	g	0,01g/cm ³	0,01g/cm ³	0,01g/cm ³	0,1%	kN	N	kgf	0,1 mm	0,1 mm	%	
5,0	Imersão 40 min/60°C	1198,4	692,3	1198,7	2,371	2,377	2,460	3,4	19,89	19675	2007	2,7	2,5	91
		1193,5	691,2	1193,6	2,380				20,90			2,4		
		1195,5	693,1	1195,5	2,384				19,51			2,4		
		1197,2	692,1	1197,5	2,373				18,40			2,4		
	Imersão 24 h/60°C	1196,4	693,2	1197,4	2,377	2,378	2,460	3,3	17,46	17900	1826	3,0	2,9	
		1194,4	692,2	1194,7	2,381				17,48			2,9		
		1191,8	689,6	1192,3	2,375				19,10			2,9		
		1192,9	691,2	1193,7	2,378				17,56			2,6		

Em função dos resultados obtidos, apresenta-se na tabela 54 a verificação da conformidade dos requisitos impostos pelo caderno de encargos para a mistura betuminosa em estudo.

Tabela 54 – Especificações do caderno de encargos relativo às características da mistura betuminosa

Características da mistura betuminosa	Resultados	Especificações do caderno de encargos
Número de pancadas em cada provete	75	75
Força de rotura (N)	18945	[8000; 15000]
Deformação (mm)	2,6	≤ 4
Volume de vazios do agregado mineral (VMA) (%)	14,7	≥ 13
Porosidade (%)	3,3	[3; 6]
Relação ponderal filler/betume (%)	1,4	[1,1; 1,5]
Resistência conservada (%)	91	≥ 75

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a mistura betuminosa formulada cumpre com os requisitos estabelecidos pelo caderno de encargos, com a excepção da força de rotura. A experiência indica que com agregados graníticos e betume 35/50, as cargas de rotura dos provetes Marshall moldados com 75 pancadas por face são superiores a 15000N. Um critério que é utilizado noutros cadernos de encargos para controlar a rigidez das misturas é o da rigidez de Marshall que neste tipo de misturas deve assumir o valor mínimo de 250 Kh/mm. Esta mistura apresenta o valor de 743 Kg/mm para essa propriedade cumprindo por isso esse requisito.

Tendo em conta todas as considerações referidas anteriormente e a metodologia indicada no ponto 5.1, determinou-se que a percentagem óptima de betume para a mistura em estudo é de 5,0%.

Tendo em conta a percentagem obtida, apresenta-se na tabela 55 a fórmula de trabalho obtida para a mistura em estudo.

Tabela 55 – Percentagens da mistura betuminosa

Materiais	Percentagens da mistura (%)
Pó 0/6	52,2
Agregado 6/14	25,7
Agregado 14/20	15,2
Cal hidráulica	1,9
Betume 35/50	5,0

CAPÍTULO 6

ESTUDO EXPERIMENTAL

6 Estudo Experimental

6.1 Enquadramento

O estudo experimental consistiu na execução de ensaios sobre uma mistura betuminosa, fazendo variar a temperatura óptima e energia de compactação da mistura com o objectivo de estudar a influência da variação destes dois parâmetros nos resultados dos ensaios associados à certificação de misturas betuminosas de acordo com a Marcação CE.

Foi estudada uma mistura betuminosa densa para aplicação em camada de regularização.

Os agregados utilizados no estudo são provenientes da pedreira de Penafiel da Mota-Engil Engenharia e Construção, S.A, sendo o betume proveniente da Galp e a cal hidráulica proveniente da Cimpor.

Foram utilizados os seguintes tipos de materiais na formulação da mistura betuminosa:

- Pó 0/6;
- Agregado 6/14;
- Agregado 14/20;
- Betume 35/50; e
- Cal hidráulica.

6.2 Metodologia

De acordo com a fórmula de trabalho obtida através do estudo de formulação indicada no capítulo 5, foram executadas sete misturas betuminosas, sobre as quais se fizeram variar a temperatura óptima de mistura de 158⁰C e a temperatura de compactação de 148⁰C, num intervalo de ±10⁰C e energia de compactação de 75 pancadas num intervalo de ± 5pancadas, com o objectivo de analisar as variações sobre cada parâmetro de ensaio obtido no âmbito dos ensaios obrigatórios para certificação de misturas betuminosas segundo a marcação CE. Estas variações são importantes no sentido de permitir verificar a influência dos analistas de laboratório no controlo da temperatura da mistura, numa gama de temperaturas considerada aceitável e durante a execução dos ensaios de certificação de uma mistura betuminosa. Permite também verificar a influência de eventuais problemas de funcionamento dos compactadores automáticos durante a compactação dos provetes e numa gama de variação de energia de compactação (pancadas) de acordo com o aceitável.

Deste modo, foram produzidas as seguintes misturas em laboratório:

- 1ª Mistura – Temperatura óptima e 75 pancadas;
- 2ª Mistura – Temperatura óptima -5⁰C e 75 pancadas;

- 3ª Mistura – Temperatura óptima - 10°C e 75 pancadas;
- 4ª Mistura – Temperatura óptima +5°C e 75 pancadas;
- 5ª Mistura – Temperatura óptima +10°C e 75 pancadas;
- 6ª Mistura – Temperatura óptima e 70 pancadas; e
- 7ª Mistura – Temperatura óptima e 80 pancadas.

No fabrico das diferentes misturas betuminosas foram executados os seguintes procedimentos:

- Esquartelamento dos agregados a utilizar (figura 13);
- Pesagem das várias percentagens de cada agregado;



Figura 13 – Esquartelamento dos agregados

- Colocação dos agregados e do betume na estufa juntamente com a cuba da misturadora à temperatura da mistura definida para cada experiência;
- Após atingida a temperatura definida para os materiais, executa-se a mistura dos agregados, do betume e cal hidráulica (figura 14).



Figura 14 – Misturadora dos materiais (agregados, betume e cal)

- Após a mistura, o material é esquarterado de modo a obter-se quantidades de 1200g para moldagem de cada um dos provetes e uma amostra de aproximadamente 2000g para determinação do ensaio a baridade máxima teórica sobre cada mistura (figura 15).



Figura 15 – Mistura betuminosa para ensaio

- Executou-se então a compactação dos provetes à temperatura definida e com a respectiva energia de compactação para cada uma das misturas definidas (figura 16).



Figura 16 – Preparação e compactação mecânica dos provetes

- Após compactação e logo que os provetes atinjam a temperatura ambiente, procede-se à desmoldagem dos mesmos, para posterior execução dos ensaios exigidos na marcação CE de misturas betuminosas (figura 17).



Figura 17 – Desmoldagem dos provetes

Após a moldagem dos provetes foram executados os seguintes ensaios com o objectivo de determinar o efeito da variação da temperatura e da energia de compactação em cada um dos parâmetros determinado:

- Baridade máxima teórica;
- Dimensões de provete de misturas betuminosas;
- Baridade de provetes betuminosos;
- Determinação das características dos vazios de provetes betuminosos;
- Determinação da sensibilidade à água; e
- Ensaio Marshall.

6.3 Execução de ensaios

- Baridade Máxima teórica (EN 12697-5)

A norma deste ensaio estabelece três procedimentos distintos: i) procedimento A, volumétrico; ii) procedimento B, hidrostático; e iii) procedimento C, matemático.

No procedimento volumétrico, começa-se por pesar o picnómetro vazio, incluindo a respectiva tampa, cujo volume é conhecido (figura 18). De seguida, coloca-se a amostra seca dentro do picnómetro até atingir a temperatura ambiente, pesando o conjunto da amostra mais picnómetro mais a respectiva tampa.

Enche-se o picnómetro com água até um máximo de 30mm abaixo do topo do picnómetro, mais tarde retira-se o ar existente, aplicando um vácuo parcial com uma pressão residual de no máximo 4KPa, durante 15 minutos (figura 19).

Coloca-se a tampa do picnómetro e cuidadosamente enche-se o mesmo com água, assegurando que nenhum ar é introduzido até próximo da marca de referência indicada na tampa.

Introduz-se o picnómetro no banho-maria a uma temperatura conhecida durante pelo menos 30 minutos, de forma a colocar a temperatura da amostra e da água no picnómetro ao mesmo nível do banho-maria. A água no banho-maria deve atingir uma altura de aproximadamente 20mm abaixo da tampa, enche-se o picnómetro até à marca de referência indicada na tampa com água. A água contida no recipiente deve ser elevada à temperatura do ensaio através do banho-maria. Retira-se o picnómetro do banho-maria, limpar a superfície exterior do picnómetro e pesar de imediato.

No procedimento hidrostático, começa-se por determinar a massa do recipiente vazio, dentro e fora de água.

Coloca-se a amostra no recipiente vazio, previamente seco, e à temperatura ambiente, e depois determina-se a massa do recipiente e da amostra no ar (figura 18).

Enche-se o recipiente com água e retira-se o ar agitando ou vibrando o mesmo.

O recipiente é colocado no banho-maria a uma temperatura uniforme e conhecida numa gama entre os 20^oC os 30^oC durante pelo menos 30 minutos, para que a temperatura da amostra e da água que se encontra dentro do recipiente fique ao mesmo nível da água do banho-maria. O nível da água no banho-maria deve atingir aproximadamente 20mm abaixo do topo do recipiente.

Determina-se a massa do recipiente e da amostra de ensaio quando submersa em água, a água deve estar à mesma temperatura.

No procedimento matemático, começa-se por expressar a composição da mistura em percentagens da mistura total (percentagem de agregado + percentagem de betume = 100% (m/m)). Quando a composição da mistura não é conhecida a percentagem de betume deve ser determinada e acordo com a norma EN 12697-1.

As densidades devem ser determinadas de acordo com a norma NP EN 1097-6 dos agregados e com a norma EN ISO 3838 dos betumes.



Figura 18 – Pesar amostra dentro do picnómetro dentro de água

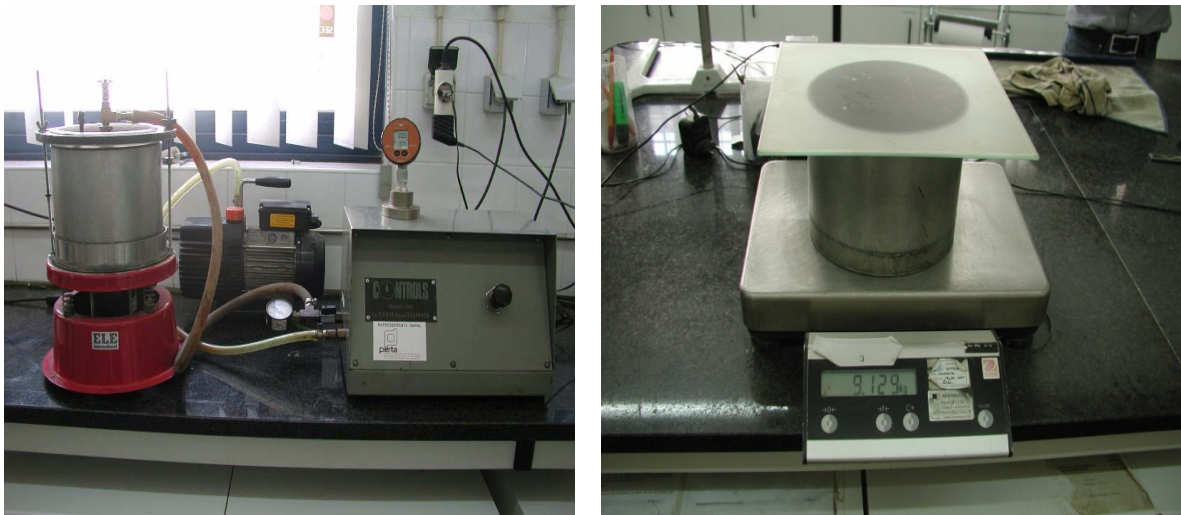


Figura 19 – Retirar o ar aplicando vácuo e tapar o picnómetro com uma tampa sem deixar entrar o ar

➤ Dimensões de provete de misturas betuminosas (EN 12697-29)

O procedimento deste ensaio consiste nas medições de provetes: i) medição da altura; ii) medição do diâmetro; e iii) medição de provetes não rectangulares.

Na mediação da altura efectuam-se quatro medições uniformemente espaçadas à volta do perímetro de cada provete. A posição destas medições deve ser claramente marcadas ao longo do provete (figura 20).

Cada medição deve ser realizada a aproximadamente 10mm da extremidade do provete. Define-se a média das quatro medições como a altura do provete e expressa-se com uma aproximação de 0,1mm.

Na medição do diâmetro, efectuam-se duas medições perpendiculares entre si e o topo, a meio e na base do provete. A média das seis medições como o diâmetro do provete e expressa-se com uma aproximação de 0,1mm.

Na mediação de provetes não rectangulares, efectuam-se quatro medições uniformemente espaçadas à volta do perímetro de cada provete, em cada direcção. Se as dimensões numa ou mais direcções mudam substancialmente o número de medições nessa direcção deve ser ampliado para que o volume do provete possa ser sempre calculado.

A posição destas medições deve ser claramente marcadas ao longo do provete. Cada medição realizada deve ser próxima das extremidades do provete.

Define-se a média das quatro medições como a dimensão do provete numa dada direcção e expressa-se com uma aproximação de 0,1mm (figura 20).



Figura 20 – Medições dos provetes

➤ Baridade de provetes betuminosos (EN12697-6)

O procedimento deste ensaio consiste em quatro etapas: i) procedimento A, massa volúmica aparente – seca; ii) procedimento B, massa volúmica aparente – saturado com superfície seca; iii) procedimento C, massa volúmica aparente – provete selado; e iv) procedimento D, massa volúmica aparente através das dimensões.

No procedimento da massa volúmica aparente – seca, começa-se por determinar a massa do provete seco. Determina-se a massa volúmica da água à temperatura de ensaio com uma aproximação de $0,1 \text{ Kg/m}^3$. De seguida introduz-se o provete em banho de água mantido à temperatura de ensaio conhecida. A massa do provete determina-se, assim que a água estabilize após a imersão.

No procedimento da massa volúmica aparente – saturado com superfície seca, começa-se por determinar a massa do provete seco. Determina-se a massa volúmica da água à temperatura de ensaio com uma aproximação de $0,1 \text{ Kg/m}^3$.

O provete é colocado no banho de água à temperatura de ensaio, deixa-se a água saturar o provete o tempo suficiente para que a massa do provete não se altere.

Determina-se a massa do provete saturado quando imerso e certifica-se que as bolhas de ar não aderem à superfície do provete ou abandonam o provete quando está a ser pesado.

Retira-se o provete da água, secar a superfície relativamente às gotas aderentes enxaguando com uma camurça húmida. Determina-se a massa saturada com superfície enxaguada ao ar.

No procedimento massa volúmica aparente – provete selado, começa-se por determinar a massa do provete seco. Determina-se a massa volúmica da água à temperatura de ensaio com uma aproximação de $0,1 \text{ Kg/m}^3$.

Sela-se o provete de forma que os vazios internos do provete que fazem parte da composição volumétrica do material não são penetrados e que nenhuns vazios extra são incluídos entre a selagem e o provete ou nas dobras de selagem. Após selagem, o provete deve ser inacessível à água quando imerso.

Determina-se a massa do provete seco selado e coloca-se o provete no banho de água à temperatura de ensaio conhecida.

Determina-se a massa do provete selado debaixo de água e certificar que as bolhas de ar não aderem à selagem quando está a ser pesado.

No procedimento massa volúmica aparente através das dimensões, determina-se as dimensões do provete em milímetros de acordo com a EN 12697-29 e determina-se a massa do provete seco.

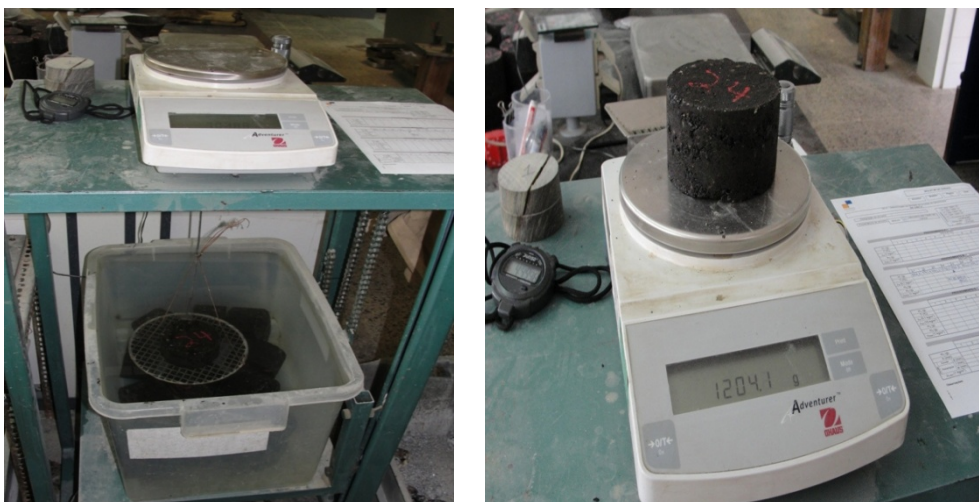


Figura 21 – Determinar o peso do provete dentro de água e determinar o peso ao ar

➤ Determinação da sensibilidade à água (EN12697-12)

O procedimento deste ensaio consistiu num método para determinar a resistência à tracção indirecta de amostras cilíndricas de misturas betuminosas.

Utilizam-se 6 provetes divididos em dois subconjuntos de 3 provetes com aproximadamente o mesmo comprimento médio e a mesma baridade média. Guardam-se 3 destes provetes (subconjunto seco) numa superfície plana a uma temperatura ambiente de $20(\pm 5)^{\circ}\text{C}$. Os restantes provetes (subconjunto saturado) são colocados imersos em água num picnómetro de vácuo durante $30(\pm 5)$ minutos a uma pressão de 6.7 Kpa. Após este procedimento calcula-se o volume dos provetes, sendo rejeitados se aumentarem mais de 2% do seu volume. De seguida coloca-se o subconjunto saturado num banho de água a uma temperatura de $40(\pm 1)^{\circ}\text{C}$ durante 68 horas a 72 horas.

Decorrido este passo os provetes do subconjunto seco são revestidos por uma película impermeabilizante sendo, juntamente com o subconjunto saturado introduzidos num banho de água a uma temperatura de $15(\pm 2)^{\circ}\text{C}$ durante pelo menos 2 horas. Findo este tempo os provetes são ensaiados na prensa, sendo determinada a resistência à tracção indirecta (figura 22).

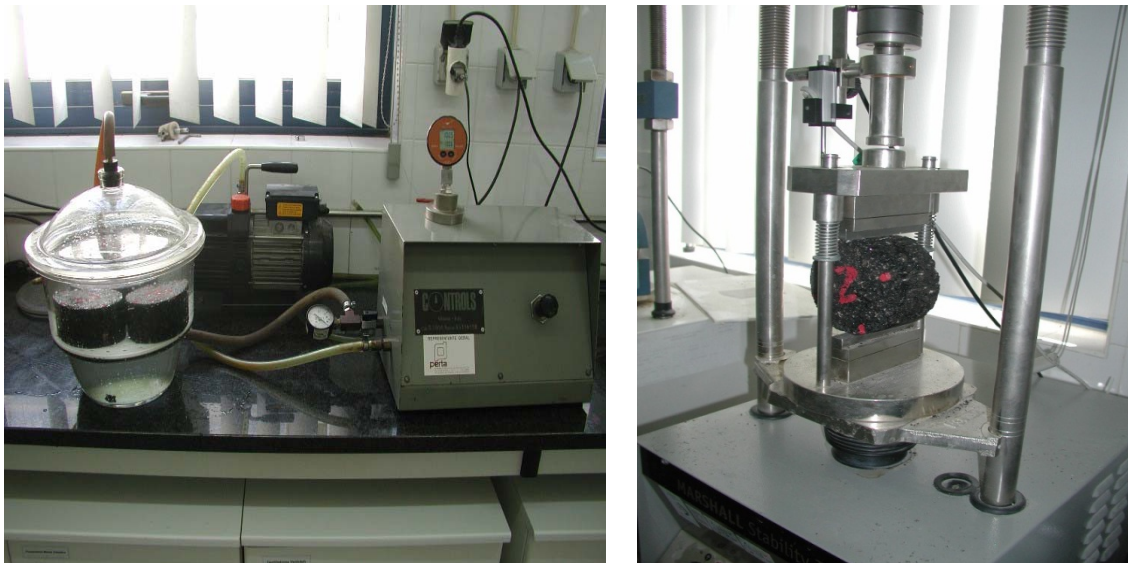


Figura 22 – Retirar o ar dos provetes aplicando vácuo e determinar a resistência à tracção indirecta

➤ Ensaio Marshall

Neste ensaio determina-se os valores da estabilidade, deformação e quociente Marshall de provetes de misturas betuminosas (figura23).

Na execução deste ensaio foram necessários 4 provetes cilíndricos de misturas betuminosas sendo calculada a baridade e medida a altura de cada um deles. Findo este processo foram colocados num banho de água a uma temperatura de $60(\pm 1)^{\circ}\text{C}$ pelo menos durante 40 minutos e

não mais de 60 minutos. No banho é também colocado o estabilômetro pelo menos 30 minutos antes do rebenamento. Decorrido este tempo os provetes são retirados do banho um a um e imediatamente colocados no estabilômetro para serem rebenutados na prensa sendo registada a deformação e a tensão de rotura.



Figura 23 – Ensaio Marshall, determinação da tensão de rotura e deformação

CAPÍTULO 7

APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

7 Apresentação de Resultados

Pretende-se neste capítulo analisar os resultados obtidos no estudo experimental. A metodologia de análise dos resultados consiste na análise da evolução de cada parâmetro determinado em função da variação de temperatura da mistura estudada e da energia de compactação utilizada na moldagem de cada conjunto de provetes.

Na tabela 56 e na figura 24, apresentam-se os resultados dos ensaios de baridade máxima teórica segundo o procedimento A e B, em função de uma variação de temperatura de $\pm 10^{\circ}\text{C}$ em torno da temperatura óptima determinada.

Tabela 56 – Resultados das baridades máximas teóricas vs variação de temperatura

Temperatura da mistura ($^{\circ}\text{C}$)	Baridade máxima teórica (Proced. A)	Baridade máxima teórica (Proced. B)
	EN 12697-5	EN 12697-5
	$\rho_{mv}(\text{kg}/\text{m}^3)$	$\rho_{mh}(\text{kg}/\text{m}^3)$
148	2445	2443
153	2446	2444
158	2446	2444
163	2446	2445
168	2448	2446

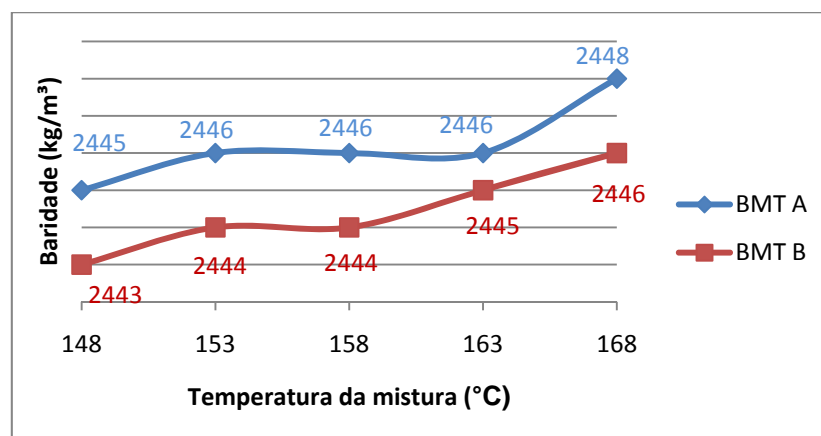


Figura 24 – Evolução das baridades máximas teóricas vs variação de temperatura

Da análise aos resultados obtidos, verifica-se que a variação da baridade máxima teórica entre os dois métodos e para uma gama de variação de temperatura de 10°C não é significativa, tendo sido

obtido um valor máximo de 2448 kg/m³ e um valor mínimo de 2443 kg/m³, correspondendo a um diferencial de 5 kg/m³.

Na tabela 57 e na figura 25, apresentam-se os resultados dos ensaios de sensibilidade à água, em função de uma variação de temperatura de ± 10°C em torno da temperatura óptima determinada.

Tabela 57 – Resultados da sensibilidade à água variando a temperatura óptima

Temperatura de compactação (°C)	Sensibilidade à Água
	EN 12697-12
	ITSR (%)
138	88
143	78
148	88
153	87
158	82

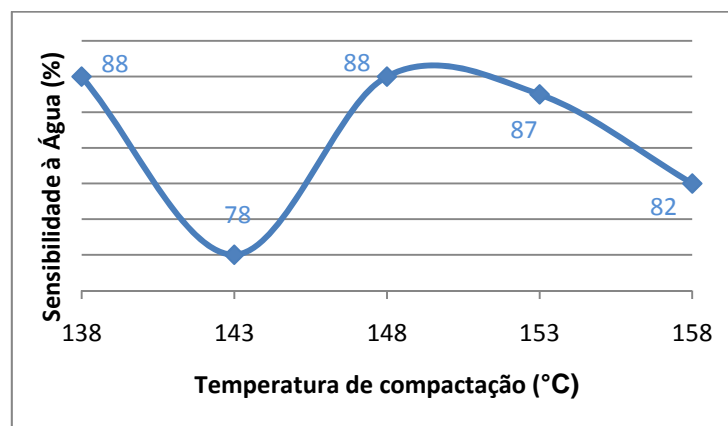


Figura 25 – Evolução da sensibilidade à água em função da temperatura

Em função dos resultados obtidos, verifica-se que apesar da variação da sensibilidade à água para uma gama de variação de temperatura de 10°C, a mesma se mantém em valores elevados revelando pouca sensibilidade da mistura a ação da água. Para a temperatura de 143°C, obteve-se um valor suspeito provavelmente devido a deficiências no envolvimento da mistura. Verifica-se no entanto e considerando os restantes pontos uma diminuição da capacidade resistente para temperaturas acima do óptimo definido, pelo facto de com o aumento da temperatura o betume ter tendência a envelhecer perdendo características de elasticidade. Para este ensaio foi obtido

um valor máximo de 88% e um valor mínimo de 82% correspondendo a um diferencial de 6 % na gama de temperaturas estudada.

Na tabela 58 e na figura 26, apresentam-se os resultados dos ensaios de sensibilidade à água, em função de uma variação da energia de compactação em ± 5 pancadas em torno do valor indicado no caderno de encargos e para a temperatura de mistura óptima.

Tabela 58 – Resultados da sensibilidade à água vs número de pancadas

Número de pancadas	Sensibilidade à Água
	EN 12697-12
	ITSR (%)
70	85
75	88
80	79

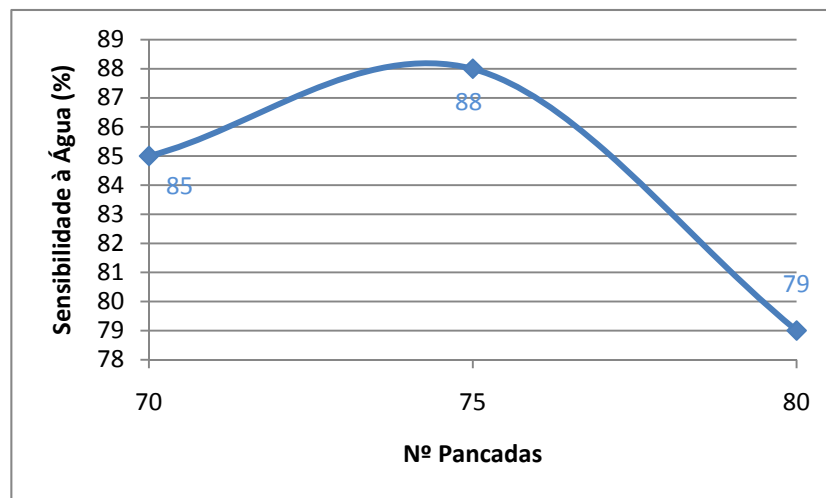


Figura 26 – Evolução da sensibilidade à água vs número de pancadas

Da análise aos resultados obtidos, verifica-se que a variação da sensibilidade à água em função da variação do número de pancadas é oscilante, aumentando o valor do diferencial entre o resultado mínimo e máximo para 9%, relativamente aos resultados obtidos através dos ensaios executados em função da variação da temperatura. De qualquer forma, verifica-se que os valores obtidos mantêm-se elevados, revelando novamente pouca sensibilidade da mistura a acção da água, independentemente da variação da energia de compactação.

Na tabela 59 e na figura 27, apresentam-se os resultados dos ensaios de determinação da baridade de provetes betuminosos segundo o procedimento B e D, em função de uma variação de temperatura de $\pm 10^{\circ}\text{C}$ em torno da temperatura óptima determinada.

Tabela 59 – Resultados das baridades de provetes vs variação de temperatura

Temperatura de compactação (°C)	Baridade de provetes betuminosos (Proced.B)	Baridade de provetes betuminosos (Proced.D)
	EN 12697-6	EN 12697-6
	ρ_{bSSD} (kg/m ³)	$\rho_{b, dim}$ (kg/m ³)
138	2379	2348
143	2381	2349
148	2384	2353
153	2388	2356
158	2391	2355

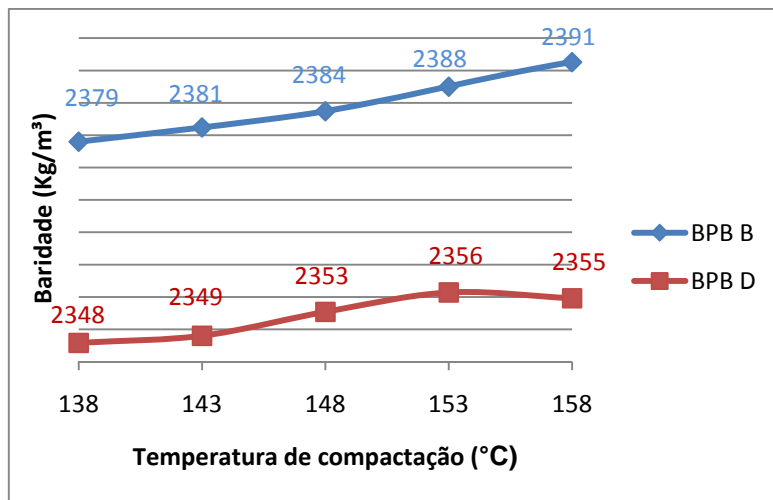


Figura 27 – Evolução das baridades de provetes vs variação de temperatura

Da análise aos resultados obtidos, verifica-se que os valores da baridade de provetes betuminosos segundo o método B e D aumentam em função do aumento da temperatura de mistura, consequência de uma maior fluidez do betume que aumenta a trabalhabilidade da mistura. O valor máximo e mínimo para o método B foi de 2391 kg/m³ e 2379 kg/m³ respectivamente, correspondendo a um diferencial de 12 kg/m³. Este valor poderá ter alguma influência no cálculo do volume de vazios da mistura quando combinado com a baridade máxima teórica. Relativamente aos valores obtidos através do método D estes são inferiores ao método B pelo facto de se tratar de um método geométrico. A tendência de evolução em função do aumento da

temperatura é semelhante à do método B, tendo-se obtido um valor máximo e mínimo de 2356 kg/m³ e 2348 kg/m³ respectivamente, correspondendo a um diferencial de 8 kg/m³

Na tabela 60 e na figura 28, apresentam-se os resultados dos ensaios de determinação da baridade de provetes betuminosos, em função de uma variação da energia de compactação em ± 5 pancadas em torno do valor indicado no caderno de encargos e para a temperatura de mistura óptima.

Tabela 60 – Resultados das baridades de provetes vs número de pancadas

Número de pancadas	Baridade de provetes betuminosos (Proced.B)	Baridade de provetes betuminosos (Proced.D)
	EN 12697-6	EN 12697-6
	ρ_{bSSD} (kg/m ³)	$\rho_{b, dim}$ (kg/m ³)
70	2375	2343
75	2384	2353
80	2405	2371

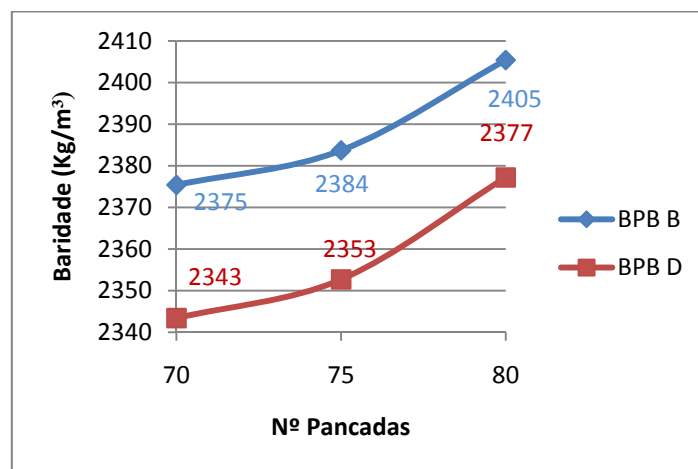


Figura 28 – Evolução das baridades de provetes vs número de pancadas

Em função dos resultados obtidos, verifica-se que os valores da baridade de provetes betuminosos segundo o método B e D aumentam em função do aumento da energia de compactação. O valor máximo e mínimo para o método B foi de 2405 kg/m³ e 2375 kg/m³ respectivamente, correspondendo a um diferencial de 30 kg/m³. Este valor é superior ao determinado em função do aumento da temperatura, tendo uma influência relevante no cálculo do volume de vazios da mistura.

Relativamente aos valores obtidos através do método D estes são inferiores ao método B pelo facto de se tratar de um método geométrico. A tendência de evolução em função do aumento da energia de compactação é semelhante à do método B, tendo-se obtido um valor máximo e mínimo de 2377 kg/m³ e 2343 kg/m³ respectivamente, correspondendo a um diferencial de 34 kg/m³.

Na tabela 61 e na figura 29, apresentam-se os resultados do cálculo do volume de vazios de provetes betuminosos para cada combinação entre os métodos indicados para a baridade máxima teórica e para a baridade de provetes betuminosos, em função de uma variação de temperatura de $\pm 10^{\circ}\text{C}$ em torno da temperatura óptima determinada.

Tabela 61 – Resultados dos volumes de vazios vs variação de temperatura

Temperatura de compactação (°C)	Volume de Vazios (A B)	Volume de Vazios (A D)	Volume de Vazios (B B)	Volume de Vazios (B D)
	EN 12697-8	EN 12697-8	EN 12697-8	EN 12697-8
	V _m (%)	V _m (%)	V _m (%)	V _m (%)
138	2,7	4,0	2,6	3,9
143	2,6	4,0	2,6	3,9
148	2,5	3,8	2,5	3,7
153	2,4	3,7	2,4	3,7
158	2,3	3,8	2,2	3,7

Nota: No cálculo da relação do volume de vazios deve ser considerada a seguinte metodologia (Baridade Máxima Teórica | Baridade de provetes betuminosos).

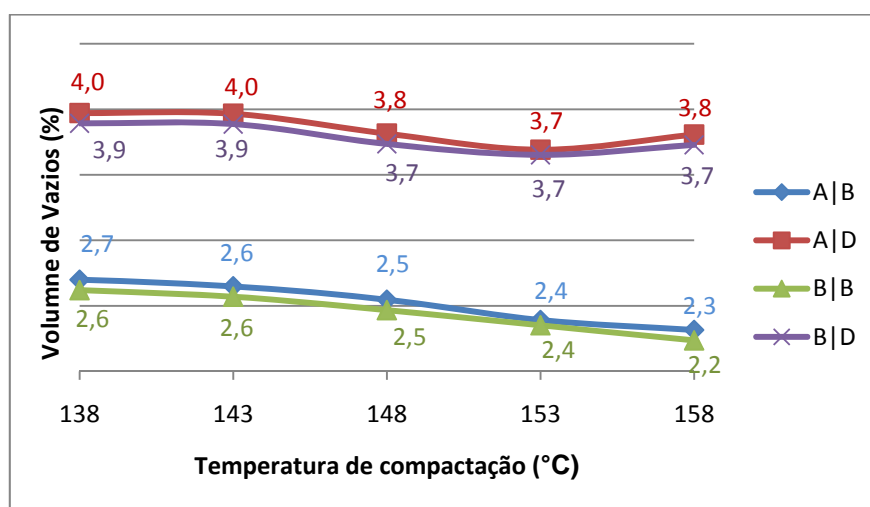


Figura 29 – Evolução dos volumes de vazios vs variação de temperatura

De acordo com resultados obtidos, verifica-se que para a combinação típica na certificação de misturas betuminosas (A|B) é muito semelhante à combinação (B|B), com um diferencial de 0.4% para as duas combinações.

A combinação com o método D da determinação da baridade de provetes betuminosos foi apenas calculada como referencia, dado que não é utilizada pelo facto de este método ser grosseiro quando comparado com o método B por se tratar de um método geométrico. O diferencial nas duas combinações foi de 0.2%.

Na tabela 62 e na figura 30, apresentam-se os resultados do cálculo do volume de vazios de provetes betuminosos para cada combinação entre os métodos indicados para a baridade máxima teórica e para a baridade de provetes betuminosos, em função de uma variação da energia de compactação em ± 5 pancadas em torno do valor indicado no caderno de encargos e para a temperatura de mistura óptima.

Tabela 62 – Resultados dos volumes de vazios vs variação número de pancadas

Número de pancadas	Volume de Vazios (A B)	Volume de Vazios (A D)	Volume de Vazios (B B)	Volume de Vazios (B D)
	EN 12697-8	EN 12697-8	EN 12697-8	EN 12697-8
	V _m (%)	V _m (%)	V _m (%)	V _m (%)
70	2,9	4,2	2,8	4,1
75	2,5	3,8	2,5	3,7
80	1,7	2,8	1,6	2,7

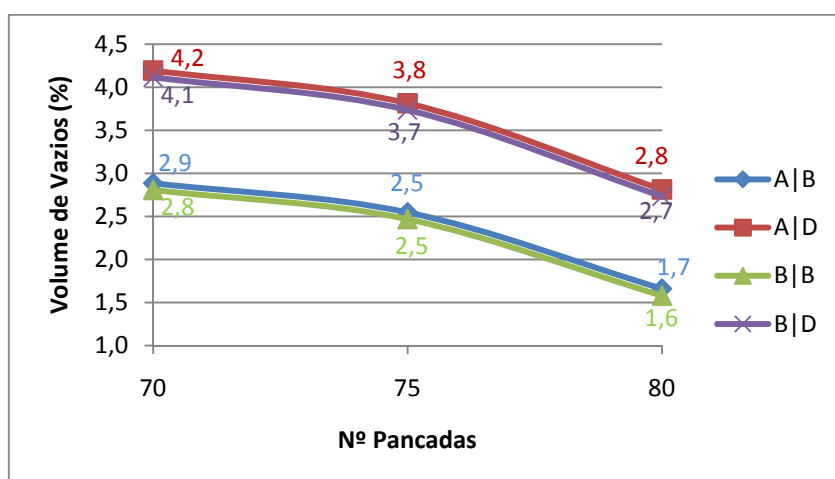


Figura 30 – Evolução dos volumes de vazios em função do número de pancadas

De acordo com os resultados obtidos verifica-se que com o aumento da energia de compactação existe um decréscimo acentuado do volume de vazios para qualquer uma das combinações estudadas. Para a combinação típica na certificação de misturas betuminosas (A|B) e para a combinação (B|B) verifica-se um diferencial de 1.2%, valor este bastante relevante no comportamento da mistura. A combinação com o método D da determinação da baridade de provetes betuminosos, à semelhança da análise em função da temperatura de mistura foi também calculada apenas como referência.

Na tabela 63 e nas figuras 31 e 32, apresentam-se os resultados do ensaio Marshall onde se analisa a tensão de rotura (S) e a deformação (F), em função de uma variação de temperatura de $\pm 10^{\circ}\text{C}$ em torno da temperatura óptima determinada.

Tabela 63 – Resultados do ensaio marshall vs variação de temperatura

Temperatura de compactação (°C)	Marshall	
	EN 12697-34	
	S (kN)	F (mm)
138	18,9	2,8
143	19,7	2,7
148	20,1	2,8
153	21,4	2,8
158	20,2	2,6

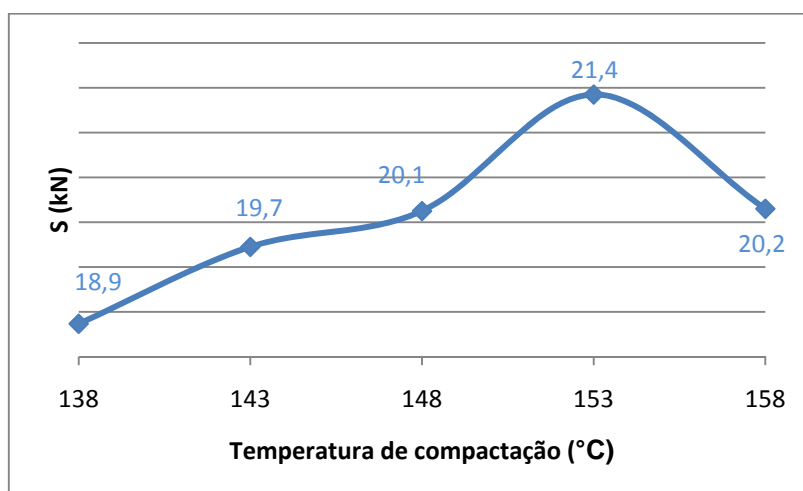


Figura 31 – Evolução da tensão de rotura vs variação de temperatura

De acordo com resultados obtidos no caso da tensão de rotura, verifica-se um aumento da tensão no intervalo de variação de -10°C e +5°C em torno da temperatura óptima, diminuindo a tensão de rotura para uma temperatura de +10°C. Obteve-se um valor máximo de 21.4kN e um valor mínimo de 18.9kN, correspondendo a um diferencial de 2.5kN.

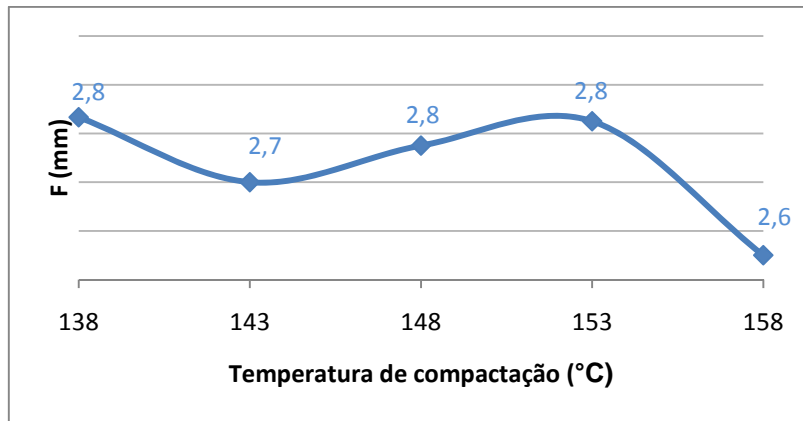


Figura 32 – Evolução da deformação em função da temperatura

Em função dos valores obtidos para a deformação, verifica-se que não existe grande variação por efeito da diminuição e aumento da temperatura óptima de mistura. Obteve-se um valor máximo de 2.8mm e um valor mínimo de 2.6mm, correspondendo a um diferencial de 0.2mm, valor este não considerado relevante.

Na tabela 64 e nas figuras 33 e 34, apresentam-se os resultados do ensaio Marshall onde se analisa a tensão de rotura (S) e a deformação (F), em função de uma variação da energia de compactação em ± 5 pancadas em torno do valor indicado no caderno de encargos e para a temperatura de mistura óptima.

Tabela 64 – Resultados do ensaio Marshall vs número de pancadas

Número de Pancadas	Marshall	
	EN 12697-34	
	S (kN)	F (mm)
70	18,7	2,9
75	20,1	2,8
80	24,3	3,7

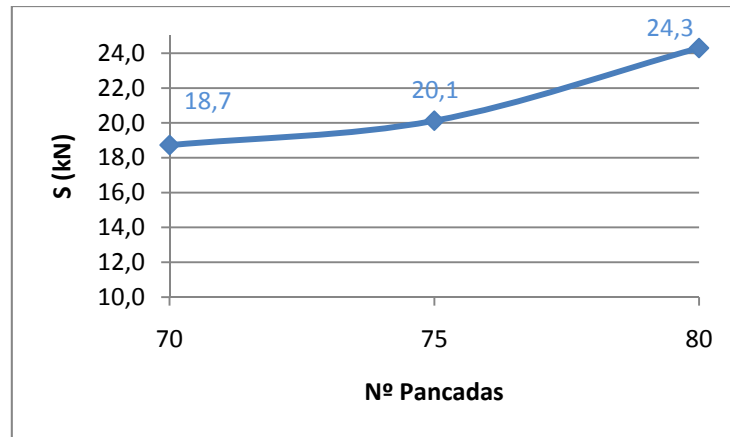


Figura 33 – Evolução da tensão de rotura vs número de pancadas

Em função dos resultados obtidos no caso da tensão de rotura, verifica-se um aumento da tensão de rotura para o intervalo estudado entre 70 a 80 pancadas. Obteve-se um valor máximo de 24.3kN e um valor mínimo de 18.7kN, correspondendo a um diferencial de 5.6kN.

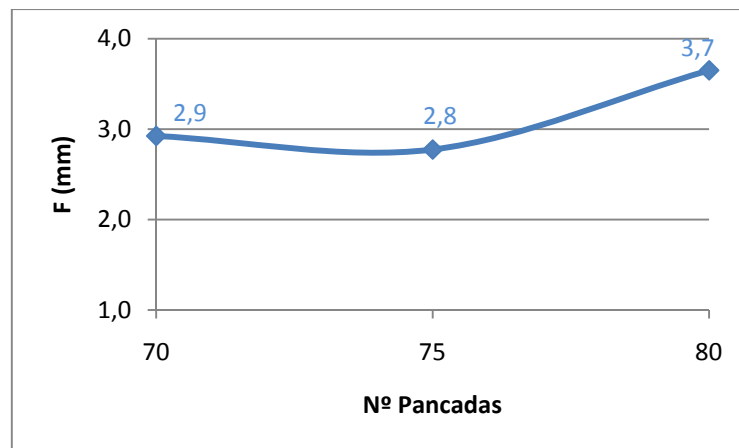


Figura 34 – Evolução da deformação vs número de pancadas

Relativamente à deformação verifica-se que não existe variação significativa para 70 e 75 pancadas e um aumento no caso das 80 pancadas.

Obteve-se um valor máximo de 3.7mm e um valor mínimo de 2.8mm, correspondendo a um diferencial de 0.9mm.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES

8 Conclusões

O estudo experimental realizado teve como objectivo determinar a influência da variação da temperatura e energia de compactação, numa mistura betuminosa densa para camada de regularização nos parâmetros associados aos ensaios obrigatórios no âmbito da certificação de misturas betuminosas segundo a Marcação CE.

No estudo de formulação laboratorial abordou-se as características dos materiais constituintes da mistura, e respectivas especificações técnicas, habitualmente requeridas no fabrico de misturas betuminosas.

Na execução do estudo experimental foram testadas diversas temperaturas de mistura e energias de compactação, dentro de um intervalo considerado aceitável tendo em conta a influência do operador nos resultados finais obtidos para cada um dos ensaios executados no âmbito da Marcação CE de misturas betuminosas.

No que se refere à influência da variação da temperatura, verifica-se que no caso das baridades máximas teóricas a variação de resultados não é significativa nos dois métodos de ensaio previsto pela norma de referência.

Relativamente ao ensaio de sensibilidade à água, em função da variação de temperatura e a energia de compactação verificou-se variações com alguma relevância, ainda que as mesmas não ultrapassem os valores mínimos exigidos para a generalidade das misturas betuminosas para este parâmetro, garantindo um bom desempenho da mistura.

Quanto ao ensaio de determinação da baridade de provetes betuminosos, verificou-se uma variação relevante para qualquer um dos dois métodos indicados na norma de referência. Esta variação poderá ser devida, no que se refere à variação da temperatura de mistura, ao facto de com o aumento da temperatura, o betume ficar mais fluido aumentando a trabalhabilidade da mistura, verificando-se também um aumento da baridade nos provetes moldados fazendo variar energia de compactação. Estas variações têm influência significativa no cálculo do volume de vazios da mistura, sendo este um parâmetro relevante no que se refere ao desempenho da mistura após aplicação.

No que se refere ao cálculo associado ao volume de vazios, realizado através do resultado da baridade máxima teórica e da baridade de provetes betuminosos, e tendo em conta as várias combinações experimentadas, verificou-se que o impacto no resultado final provocado pela variação da temperatura óptima de compactação não é relevante. Por seu lado, o impacto provocado pela variação da energia de compactação em torno do valor de referência têm um impacto bastante significativo no valor associado à porosidade da mistura betuminosa.

No que se refere ao ensaio Marshall, os resultados obtidos revelaram que a variação da temperatura de mistura em torno da temperatura óptima, não representa um diferencial de resultados ao nível da tensão de rotura (S) e de deformação (F) relevantes, não condicionando desta forma o comportamento da mistura. Fazendo variar a energia de compactação, verificou-se um aumento da tensão de rotura e da deformação mais significativo do que fazendo variar a temperatura de mistura, embora os valores obtidos não sejam relevantes para o desempenho final da mistura.

Como considerações finais, verificou-se com este trabalho que variações na ordem dos 10°C em torno da temperatura de mistura óptima e de cinco pancadas em torno da energia especificada de compactação, não alteram significativamente os resultados dos ensaios obrigatórios na certificação de uma mistura betuminosa, excepto para o parâmetro volume de vazios, onde se verifica que quando há energia de compactação, existe uma diminuição considerável da porosidade da mistura devido a uma maior compactação da mesma.

Deste modo, deve se garantir que os equipamento de compactação (automático ou manual) devem estar devidamente calibrados e verificados, de forma a que seja aplicada a energia de compactação correcta, garantindo desta forma que os parâmetros determinados através dos ensaios indicados ao longo deste trabalho não são adulterados.

Trabalhos futuros

Pretendeu-se com este trabalho desenvolver fundamentalmente um estudo laboratorial onde fosse possível identificar a influência do operador e dos equipamentos nos ensaios correntes associados à Marcação CE de misturas betuminosas. Ficou no entanto por estudar, por falta de tempo, o ensaio de Well-Tracking (deformações permanentes), sendo que este ensaio é particularmente importante no desempenho de uma mistura betuminosa, estando desta forma previsto estudar os efeitos da variação da temperatura de mistura e da energia de compactação neste ensaio em trabalhos futuros.

Bibliografia

Bibliografia

- Antunes, F. B. (2005). Avaliação da sensibilidade à água de misturas betumíneas com betume modificado com alta percentagem de borracha.
- Asphalt - Roads for Life - Eurasphalt & Eurobitume Congress. (May de 2008). Copenhagen.
- Betuminosas, A. -A. (1998). *Misturas betuminosas Contribuição para a normalização do fabrico e da aplicação*. Lisboa: Oficinas gráficas Manuel A. Pacheco, Lda.
- Gomes, L. F. (2005). *Reciclagem de Misturas Betuminosas a Quente em Central*. Porto: MVC.
- JAE. (1995). Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional .
- Jalali, A. Z. (2009). *A Cal na Construção*. Guimarães: Gráfica Vilaverdense - Artes Gráficas, Lda.
- Jiménez, F. E. (2007). *Manual de Pavimentação*. Lisboa: Naranja.
- LNEC. (2009). Obtido de http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/marcacao_ce
- LNEC. (2009). Obtido de http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/directiva_produtos_construcao
- LNEC. (25 de Novembro de 2005). Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários.
- LNEC. (Abril de 2009). Novos ensaios para caracterização laboratorial de agregados e misturas betuminosas.
- Manso, S. (2007). Resumos das Vias de Comunicação.
- Picado-Santos, A. M. (2002). Estruturas de Pavimento Rodoviário Flexível.
- Santos, P. P. (2002). *Pavimentos Rodoviários*. Braga: Impresso na Tipografia Barbosa & Xavier, Lda.
- Silva, H. M. (2005). *Caracterização do Mástique Betuminoso e da Ligação Agregado-Mástique*. Universidade do Minho, Engenharia Civil - Vias de comunicação. Braga: UM.
- Sousa, C. M. (2009). *Estudo de formas de melhoramento do desempenho dos agregados usados em camada de sub-balastro em termos da sua permeabilidade*. Coimbra.
- Specht, L. P. (2005). Conceitos Introdutórios Rodovias II. Brasil.

Sítios

- www.palegrossos.com/fotos/docs/Cal_Hidraulica.pdf (acedido: Maio 2009)
- www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/baptista/artigos/Estrada2002.pdf (acedido: Junho 2009)
- http://www.ipq.pt/backhtmlfiles/ipq_mei.htm (acedido: Março 2009)
- http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/marcacao_ce (acedido: Abril 2009)
- http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/directiva_produtos_construcao (acedido: Abril 2009)
- www.engenhariacivil.com (acedido: Agosto 2009)
- www.projest-engenharia.com (acedido: Agosto 2009)
- http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/marcacao_ce (acedido: Julho)
- http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/directiva_produtos_construcao (acedido: Julho 2009)

<http://www.sendspace.com/file/lkyuo4> (acedido: Julho 2009)

<http://www.sendspace.com/file/xns6jm> (acedido: Agosto 2009)

<http://www.ebbo.pt/jaop/pt/produtosMfrio.asp> (acedido: Maio 2009)

<http://www.britaminho.com/produto.cfm?id=2&idproduto=18> (acedido: Junho 2009)

Normas

EN 933 (1997) /A1 (2005) - Tests for geometrical properties of aggregates. Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method, Norma Europeia – Versão Inglesa.

EN 933 (2001) - Tests for geometrical properties of aggregates. Part 6: Assessment of surface characteristics. Flow coefficient of aggregates, Norma Europeia – Versão Inglesa.

NP EN 933 (2002) - Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 7: Determinação do teor de conchas. Percentagem de conchas nos agregados grossos, Norma Europeia – Versão Inglesa.

NP EN 933 (2005) - Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 10: Avaliação dos finos. Granulometria do fíler (peneiração por jacto de ar), Norma Europeia – Versão Portuguesa.

EN 1426 (2007) - Bitumen and bituminous binders. Determination of needle penetration, Norma Europeia – Versão Inglesa.

EN 1427 (2007) - Bitumen and bituminous binders. Determination of the softening point. Ring and Ball method, Norma Europeia – Versão Inglesa.

EN 12591(2009) - Bitumen and bituminous binders. Specifications for paving grade bitumens, Norma Europeia – Versão Inglesa.

EN 12595 (2007) - Bitumen and bituminous binders. Determination of kinematic viscosity, Norma Europeia – Versão Inglesa.

EN 12596 (2007) - Bitumen and bituminous binders. Determination of dynamic viscosity by vacuum capillary, Norma Europeia – Versão Inglesa.

EN 12697 (2005) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 1: Soluble binder content, Norma Europeia – Versão Inglesa.

EN 12697 (2005) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 3: Bitumen recovery: Rotary evaporator, Norma Europeia – Versão Inglesa.

EN 12697 (2005) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 4: Bitumen recovery: Fractionating column, Norma Europeia – Versão Inglesa.

EN 12697 (2002) - Bituminous mixtures. Test method for hot mix asphalt. Part 7: Determination of bulk density of bituminous specimens by gamma rays, Norma Europeia – Versão Inglesa.

EN 12697 (2003) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 8: Determination of void characteristics of bituminous specimens, Norma Europeia – Versão Portuguesa.

- EN 12697 (2005) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 11: Determination of the affinity between aggregate and bitumen, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 12697 (2008) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 12697 (2004) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 16: Abrasion by studded tyres, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 12697 (2004) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 18: Binder drainage, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 12697 (2003) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 20: Indentation using cube or Marshall specimens, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 12697 (2003) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 21: Indentation using plate specimens, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 12697 (2005) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 25: Cyclic compression test, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 12697 (2004) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 26: Stiffness, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 12697 (2007) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 31: Specimen preparation by gyratory, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 12697 (2004) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 39: Binder content by ignition, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 12697 (2005) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt -. Part 41: Resistance to de-icing fluids, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 12697 (2005) - Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 43: Resistance to fuel, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- NP EN 13043 (2004) - Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação, Norma Europeia – Versao Portuguesa.
- EN 13108 (2006) - Bituminous mixtures. Material specifications. Part 1 - Asphalt concrete, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 13108 (2006) - Bituminous mixtures. Material specifications. Part 2 - Asphalt Concrete for very thin layers, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 13108 (2006) - Bituminous mixtures. Material specifications. Part 3 - Soft Asphalt, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 13108 (2006) - Bituminous mixtures. Material specifications. Part 4: Hot Rolled Asphalt, Norma Europeia – Versão Inglesa.

- EN 13108 (2006) - Bituminous mixtures. Material specifications. Part 5: Stone Mastic Asphalt, Norma Europeia - Versão Inglesa.
- EN 13108 (2006) - Bituminous mixtures. Material specifications. Part 6: Mastic Asphalt, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 13108 (2006) - Bituminous mixtures. Material specifications. Part 7: Porous Asphalt, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 13108 (2005) - Bituminous mixtures. Material specifications. Part 8: Reclaimed asphalt, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 13108 (2008) - Bituminous mixtures. Material specifications. Part 20: Type Testing, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 13108 (2008) - Bituminous mixtures. Material specifications. Part 21: Factory Production Control, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 13501 (2007) – Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 13808 (2005) - Bitumen and bituminous binders. Framework for specifying cationic bituminous emulsions, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 13924 (2006) - Bitumen and bituminous binders. Specifications for paving grade bitumens, Norma Europeia – Versão Inglesa.
- EN 14023 (2005) - Bitumen and bituminous binders. Framework specification for polymer modified bitumens, Norma Europeia – Versão Inglesa.

Anexos – Boletins de ensaio
(Ver CD em anexo)