

ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO/REJEIÇÃO DO CADERNO DE ENCARGOS TIPO OBRA DA E.P. PARA PAVIMENTAÇÃO

Gonçalo de Freitas Costa

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil - Perfil de Construção

Orientador: Professor Doutor Rui Alexandre Lopes Baltazar Micaelo

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Daniel Aelenei

Arguente: Prof. Luís Manuel Trindade Quaresma

Vogal: Prof. Doutor Rui Alexandre Lopes Baltazar Micaelo

Janeiro 2012

“ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO/REJEIÇÃO DO CADERNO DE
ENCARGOS TIPO OBRA DA E.P. PARA PAVIMENTAÇÃO”

Copyright © 2012 de Gonçalo Costa, FCT/UNL, UNL.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado sob orientação do Doutor Rui Micaelo, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. A ele quero expressar o meu profundo agradecimento pela orientação desta dissertação, acompanhamento permanente e interesse que sempre demonstrou na concretização deste trabalho, pelos conhecimentos e conselhos transmitidos e por toda a disponibilidade demonstrada.

Ao Eng.º Luís Quaresma, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, pela atenção prestada no fornecimento de dados essenciais à execução deste trabalho e no esclarecimento de algumas dúvidas.

À Eng.ª Alexandra Ferreira, da Ascendi, pela autorização na utilização dos dados relativos ao caso de estudo e à Eng.ª Iva Maia, da Afaplan, a quem devo um agradecimento especial pelo acompanhamento na visita à obra e disponibilidade no esclarecimento de dúvidas relativas ao mesmo caso de estudo.

Aos Engenheiros Rui Masgalos, Hélder Correia e Clara Rosete, também da Afaplan, que tão bem me receberam e se mostraram sempre disponíveis para ajudar no caso de estudo utilizado.

À minha família, em especial aos meus pais, pelo apoio e incentivo que sempre me facultaram para a concretização dos meus objectivos, não só nesta fase final da minha formação superior, mas também ao longo de toda a minha vida académica e pessoal.

A todos os meus amigos, pela paciência e carinho demonstrado e que de uma maneira ou de outra, sempre me apoiaram e incentivaram a atingir os meus objectivos.

Aos meus colegas de curso, também eles meus amigos, com quem adquiri e partilhei conhecimento, pelo apoio e amizade sempre demonstrada ao longo deste percurso.

RESUMO

Desde a constituição das primeiras civilizações, as estradas sempre desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento das sociedades, permitindo a aproximação de pessoas e facilitando as trocas comerciais entre povos.

Nos dias que correm, verifica-se uma crescente utilização das estradas, o que conduz a um aumento das exigências de conforto, segurança e durabilidade que estas devem apresentar.

Dada a situação económico-financeira instável que se vive actualmente um pouco por todo o mundo, torna-se necessário assegurar que os investimentos realizados na construção de estradas garantam a durabilidade desejada e condições de utilização satisfatórias.

Em Fevereiro de 2009, a empresa Estradas de Portugal, S.A. (EP) publicou um novo Caderno de Encargos Tipo Obra (CETO) para pavimentação, que veio substituir o anterior de 1998, publicado pela extinta JAE. Esta actualização pretendeu adaptar o documento nacional face ao acervo normativo europeu em vigor e às novas práticas tecnológicas.

Com esta uniformização, foram introduzidos novos critérios e valores limite para a aceitação/rejeição de camadas, tendo em vista a verificação da qualidade de execução após a construção. Foram igualmente adicionados aos critérios, penalizações económicas que permitem a aceitação de um requisito em situação de qualidade inferior.

Tendo em conta os novos valores limite adoptados pela EP para os diversos requisitos, elaborou-se um estudo comparativo entre estes dados e os utilizados por outras entidades com actividade em Portugal, assim como com outras a actuar no Brasil, Espanha e Inglaterra.

Foi também avaliada a relação dos valores das penalizações económicas com a perda de vida do pavimento que conduz à sua aplicação, tendo em conta os valores de penalização e os intervalos da sua aplicação.

Constatou-se que para a verificação da porosidade das camadas betuminosas, existe uma diminuição da exigência do critério de aceitação em comparação com o anterior CETO da JAE, por via da aplicação de penalizações económicas que permite a sua permanência no pavimento, mas que de um modo geral os valores limite dos critérios actualmente em vigor são mais exigentes que os anteriores.

PALAVRAS-CHAVE:

Pavimentos Flexíveis

Caderno de Encargos

Critérios de Aceitação/Rejeição

Penalizações Económicas

ABSTRACT

Since the formation of the first civilizations, roads have always played a key role in the development of societies, allowing the approach of people and commercial trades between nations.

Nowadays, there is an increasing use of roads leading to higher demands for comfort, safety and durability that they should have.

Given the unstable economic and financial situation now prevailing all over the world, it is necessary to ensure that the budgets available for investment in construction of new roads are wisely spent in order to guarantee the desired durability and conditions of use.

In February 2009, the Portuguese Roads Administration (Estradas de Portugal, S.A. - EP) has published a revised Standard Specification document for paving, which replaced the previous one, published in 1998. This update is intended to align the national document with the current European Norms in use for paving works.

With this standardization, new criteria and acceptance values were introduced in order to assess the quality of execution after construction for each layer. In addition, new economic penalties are now in use, allowing the acceptance of a requirement that does not comply with the initial conditions, within certain limits.

Given the new threshold values presented by EP to the various requirements, a comparative study was carried out with data from other entities operating in Portugal, as well as others in Brazil, Spain and England.

The balance between the payment reduction induced by the economic penalties and the real loss in pavement's life was also assessed, taking into account the penalty values and the range of values considered for its application.

It was found that the current criteria for porosity applied by EP is less demanding than the previous one applied by JAE given the fact that the current threshold values for economic penalties avoid the removal of a layer that would be rejected by JAE criteria. Nevertheless it can be stated that the criteria currently in force concerning the remaining pavement's characteristics have shown to be more demanding than those previously in use.

KEY WORDS:

Flexible Pavements

Standard Specifications

Acceptance/Rejection Criteria

Economic Penalties

ÍNDICE GERAL

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento Temático	1
1.2	Objectivos e Fases do Trabalho	1
1.3	Conteúdo da Dissertação.....	2
2	PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS FLEXÍVEIS	5
2.1	Introdução	5
2.2	Características dos Pavimentos Rodoviários	5
2.2.1	Tipos de Pavimentos.....	6
2.2.2	Camadas dum Pavimento Rodoviário.....	7
2.3	Caracterização dos Materiais para Pavimentação.....	9
2.3.1	Solos	9
2.3.2	Agregados	10
2.3.3	Ligantes.....	15
2.3.4	Misturas Betuminosas a Quente	25
2.4	Formulação e Produção de Misturas Betuminosas a Quente.....	28
2.4.1	Misturas Betuminosas a Quente	28
2.4.2	Processo de Fabrico	32
2.4.3	Aplicação em Obra	35
2.5	Anomalias Associadas a Pavimentos Flexíveis	38
2.5.1	Deformações	39
2.5.2	Fendilhamento	40
2.5.3	Desagregação.....	41
2.5.4	Movimento de Materiais.....	42
3	CADERNOS DE ENCARGOS	43
3.1	Introdução	43
3.2	Objectivos e Conteúdo de um Caderno de Encargos	43
3.2.1	O Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal	44
3.3	Principais Modificações no Caderno de Encargos Tipo Obra da EP.....	46
3.3.1	Legislação sobre Produtos	46
3.3.2	Novas Designações para Misturas Betuminosas.....	48
3.3.3	Série de Peneiros.....	50
3.3.4	Propriedades a Avaliar e Métodos de Ensaio	52
3.3.5	Frequência de Ensaios	55
3.3.6	Avaliação da Camada Terminada e Pagamentos	56
3.4	Considerações Finais	57

4 CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO/REJEIÇÃO	59
4.1 Introdução	59
4.2 Tipos de Especificações	59
4.2.1 Especificações de Método (<i>Method Specifications</i>).....	59
4.2.2 Especificações de Resultado Final (<i>End-Result Specifications</i>)	60
4.2.3 Especificações de Verificação de Qualidade (<i>Quality Assurance Specifications</i>).....	61
4.2.4 Especificações Relacionadas com o Desempenho (<i>Performance Related Specifications</i>) ...	62
4.2.5 Especificações Baseadas no Desempenho (<i>Performance Based Specifications</i>).....	63
4.3 Definições de Lote	63
4.4 Métodos de Avaliação das Especificações.....	65
4.4.1 Camadas Não Ligadas.....	65
4.4.2 Camadas em MBQ.....	69
4.4.3 Caracterização Final do Pavimento (CFP).....	77
4.5 Comparação dos Critérios e Valores de Aceitação	86
4.5.1 Camadas Não Ligadas.....	88
4.5.2 Camadas em MBQ.....	92
4.5.3 Caracterização Final do Pavimento.....	98
4.6 Considerações Finais.....	100
5 ANÁLISE DE PAGAMENTOS	103
5.1 Introdução	103
5.2 Penalizações Económicas.....	103
5.2.1 Espessura da Camada.....	103
5.2.2 Porosidade, IRI e Textura Superficial.....	107
5.2.3 Capacidade Estrutural	117
5.3 Incentivos Económicos	117
5.3.1 Compactação da Camada	117
5.3.2 Índice de Irregularidade Internacional (IRI)	120
5.4 Considerações Finais.....	121
6 CASO DE ESTUDO.....	123
6.1 Introdução	123
6.2 Camadas Não Ligadas.....	125
6.2.1 Leito de Pavimento	125
6.2.2 Camada de Sub-base	126
6.2.3 Camada de Base.....	127
6.3 Camadas em MBQ	128
6.3.1 Camada de Ligação.....	128
6.3.2 Camada de Desgaste	130
6.4 Caracterização Final do Pavimento.....	132
6.4.1 Índice de Irregularidade Internacional (IRI)	132

6.4.2	Textura Superficial	134
6.4.3	Coeficiente de Atrito.....	135
6.4.4	Capacidade Estrutural.....	136
6.5	Considerações Finais	139
7	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	141
7.1	Conclusões	141
7.2	Desenvolvimentos Futuros.....	143
	BIBLIOGRAFIA.....	145
	ANEXOS	153
	ANEXO A - Quadros de Comparação dos Critérios de Aceitação das Camadas.....	155
	ANEXO B - Avaliação da Vida Útil do Pavimento	167
	ANEXO C - Dados para o Caso de Estudo	173

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Solicitações num pavimento rodoviário (Silva, 2005)	6
Figura 2.2 - Constituição tipo dum pavimento rodoviário flexível (adaptado de Silva, 2005).....	8
Figura 2.3 - Ensaio de penetração de betumes (Silva, 2005)	18
Figura 2.4 - Ensaio para a determinação da temperatura de amolecimento pelo método anel e bola (adaptado de Branco et al., 2008).....	19
Figura 2.5 - Esquema e exemplo do RTFOT (adaptado de Bernucci, et al., 2006)	20
Figura 2.6 - Esquema do ensaio de determinação do ponto de inflamação do betume (Bernucci, et al., 2006)	20
Figura 2.7 - Diagrama BTDC (Silva, 2005).....	22
Figura 2.8 - Constituintes de uma emulsão betuminosa (adaptado de Bernucci, et al., 2006).....	23
Figura 2.9 - Distribuição das tensões entre camadas (adaptado de Branco, et al., 2008).....	25
Figura 2.10 - Composição volumétrica dum mistura betuminosa compactada (Silva, 2005)	26
Figura 2.11 - Esquema do equipamento utilizado no ensaio Marshall (Capitão, 1996).....	30
Figura 2.12 - Gráficos com os resultados das variáveis do ensaio Marshall (Silva, 2005).....	31
Figura 2.13 - Esquema de funcionamento da prensa de corte giratória (Baptista, 2006).....	32
Figura 2.14 - Esquema de funcionamento dum central contínua (adaptado de EAPA, 2007)	34
Figura 2.15 - Esquema de funcionamento de uma central descontínua (adaptado de EAPA, 2007)	35
Figura 2.16 - Colocação da mistura betuminosa na pavimentadora.....	36
Figura 2.17 - Esquema de funcionamento de uma pavimentadora (SHELL, 2003)	36
Figura 2.18 - Cilindro de rolos e cilindro de pneus utilizados na compactação (SHELL, 2003).....	37
Figura 2.19 - Formação de rodeiras com origem em camadas distintas (Gardete, 2006)	40
Figura 2.20 - Fendilhamento tipo "pele de crocodilo"	40
Figura 2.21 - Aspecto da "pelada".....	41
Figura 2.22 - Aspecto de anomalias tipo "ninho".....	42
Figura 2.23 - Aspecto dum pavimento com exsudação (Pavement Interactive, 2008)	42
Figura 3.1 - Símbolo referente à marcação CE (LNEC, 2007)	47
Figura 3.2 - Fusão granulométrico para ABGE em sub-base ou base	51
Figura 3.3 - Fusão granulométrico para agregados de AC 20 base.....	52
Figura 4.1 - Aspecto superficial dum camada de sub-base em ABGE.....	66
Figura 4.2 - Rega com água numa camada não ligada.....	67

Figura 4.3 - Gamadensímetro	67
Figura 4.4 - Motoniveladora com sistema de controlo topográfico.....	69
Figura 4.5 - Extracção de carote de mistura betuminosa.....	70
Figura 4.6 - Verificação da espessura de um carote	70
Figura 4.7 - Domínios de textura da superfície dum pavimento (adaptado de Branco, et al.,2008)	73
Figura 4.8 - Ensaio da mancha de areia.....	74
Figura 4.9 - Esquema do pêndulo britânico (adaptado de NP EN 1097-8 (IPQ, 2003))	76
Figura 4.10 - Esquema do APL (Branco, et al., 2008) e equipamento em operação (LCPC, 2010)	77
Figura 4.11 - Perfilómetro de laser (LNEC, 2008a)	78
Figura 4.12 - Esquema de determinação do CAL (adaptado de Pinto, 2003)	80
Figura 4.13 - Equipamento <i>Grip Tester</i> (Alves, 2007; Findlay-Irvine, 2007).....	80
Figura 4.14 - Equipamento SCRIM (à esq.) e esquema do seu funcionamento (à dir.) (adaptado de Alves, 2007)	81
Figura 4.15 - Princípio da medida do atrito transversal com SCRIM (adaptado de Branco, et al., 2008)	81
Figura 4.16 - Evolução do coeficiente de atrito em função do tráfego total acumulado (TTA) (Pinto, 2003).....	83
Figura 4.17 - Aspecto do equipamento FWD (COST 336, 2005; Dynatest, 2008).....	84
Figura 4.18 - Esquema de ensaio e bacia de deflexão (adaptado de PaveMaintenance, 2011)	86
Figura 5.1 - Evolução do IRI ao longo da vida em serviço (adaptado de Zaghoul, 2007)	112
Figura 5.2 - Factores de ajuste de pagamentos em função do IRI inicial, nalguns estados norte-americanos (adaptado de Baus, et al., 2004)	113
Figura 5.3 - Evolução do IFI em função da textura e do <i>Grip Number</i> (GN)	115
Figura 5.4 - Relação entre a macrotextura e a densidade de uma camada (adaptado de McGhee, et al., 2003).....	116
Figura 5.5 - Equipamento CTM (McGhee, et al., 2003)	116
Figura 5.6 - Proposta para pagamento da camada para o requisito Compactação/Porosidade.....	119
Figura 6.1 - Valores do IRI para a média dos dois rodados em troços de 100m (Consulstrada, 2010a)	133
Figura 6.2 - Histograma distributivo dos valores do IRI calculados para a média dos dois rodados em troços de 100m (Consulstrada, 2010a)	133
Figura 6.3 - Resultado da medição em contínuo do coeficiente de atrito (adaptado de Consulstrada, 2011).....	135

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Tipos de pavimentos em função do ligante e deformabilidade (Branco, et al., 2008).....	6
Quadro 2.2 - Requisitos dos solos seleccionados (adaptado de EP, 2009a/b/c).....	10
Quadro 2.3 - Classes de solos segundo o MACOPAV (JAE, 1995).....	11
Quadro 2.4 - Propriedades dos solos a tratar com ligantes hidráulicos, para sub-base (EP, 2009c).....	16
Quadro 2.5 - Propriedades do ABGE tratado com cimento (adaptado de EP, 2009c).....	17
Quadro 2.6 - Especificações para betumes de pavimentação entre 20 e 330 dmm (IPQ, 2006).....	17
Quadro 2.7 - Requisitos das emulsões betuminosas clássicas (EP, 2009c).....	24
Quadro 2.8 - Variáveis que afectam as propriedades das misturas betuminosas (Silva, 2005)	27
Quadro 2.9 - Famílias e tipos de degradações (Silva, 2005).....	39
Quadro 3.1 - Designação das misturas betuminosas (adaptado de EP, 2009c).....	48
Quadro 3.2 - Dimensão dos peneiros utilizados no CETO da EP e no CETO da JAE	50
Quadro 3.3 - Peneiros EN e ASTM com malhas de dimensão entre 0 e 1 mm, em mm	50
Quadro 3.4 - Requisitos do ABGE para camadas de sub-base.....	53
Quadro 3.5 - Requisitos do ABGE para camada de base	53
Quadro 3.6 - Requisitos comuns às camadas de sub-base e base compostas por ABGE.....	54
Quadro 3.7 - Requisitos da mistura AC 20 base (macadame betuminoso - fuso A).....	55
Quadro 3.8 - Frequência de ensaios para ABGE em sub-base ou base.....	56
Quadro 3.9 - Especificações e critérios de aceitação para camada de sub-base em solos (EP, 2009d)	57
Quadro 4.1 - Relação entre n , k e α segundo uma distribuição Normal.....	64
Quadro 4.2 - Requisitos de porosidade para as várias misturas (EP, 2009d).....	71
Quadro 4.3 - Critério de regularidade para camadas betuminosas (EP, 2009d).....	72
Quadro 4.4 - Valores mínimos para o ensaio da mancha de areia (EP, 2009d)	74
Quadro 4.5 - Valores admissíveis de IRI (adaptado de EP, 2009d).....	79
Quadro 4.6 - Classificação dos valores do IRI (EP, 2009d).....	79
Quadro 4.7 - Valores mínimos da MPD para medição em contínuo (adaptado de EP, 2009d)	79
Quadro 4.8 - Valores para o coeficiente de atrito medido em contínuo (EP, 2009d).....	82
Quadro 4.9 - Documentos em análise neste trabalho	87
Quadro 4.10 - Siglas utilizadas para identificar as acções correctivas.....	88

Quadro 5.1 - Evolução da penalização económica para o requisito “Compactação Relativa”, de acordo com as especificações alemãs.....	108
Quadro 5.2 - Valores das constantes para o cálculo do IFI (adaptado de ASTM, 1998)	114
Quadro 5.3 - Critério a utilizar no IFI para as várias misturas	115
Quadro 5.4 - Critério do MF para valores de IRI (m/km) máximos a admitir nos incentivos económicos para o pagamento final da camada (adaptado de Ministério de Fomento, 2008)	120
Quadro 6.1 - Soluções admitidas em projecto para o Leito de Pavimento (Norvia, 2010)	124
Quadro 6.2 - Caracterização do pavimento para o “lote 6.1 - Murça/Carlão” (adaptado de Norvia, 2010).....	124
Quadro 6.3 - Valores médios da compactação relativa para o leito de pavimento.....	125
Quadro 6.4 - Valores médios da compactação relativa para a camada de sub-base.....	126
Quadro 6.5 - Valores médios da compactação relativa para a camada de base.....	127
Quadro 6.6 - Valores do ensaio da mancha de areia (Consulstrada, 2010a)	135
Quadro 6.7 - Condições de ensaio da capacidade de carga do pavimento (Consulstrada, 2010b).....	136
Quadro 6.8 - Modelo estrutural adoptado para a plena via do trecho em estudo (Consulstrada, 2010b)	137
Quadro 6.9 - Troços homogéneos adoptados (Consulstrada, 2010b).....	137
Quadro 6.10 - Módulos de rigidez das camadas do pavimento entre os PK 0+200 e 5+800 (Consulstrada, 2010b).....	138

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

Alfabeto Grego

α	- Risco do Adjudicatário ter um serviço de qualidade rejeitado
ε_{dp}	- Extensão vertical de compressão no topo do solo de fundação
ε_t	- Extensão radial de tracção na base das camadas betuminosas
μm	- Micrómetro
ν	- Coeficiente de Poisson
ρ_b	- Baridade aparente de um provete
ρ_m	- Baridade máxima teórica da mistura betuminosa
ω_0	- Teor óptimo de água

Alfabeto Latino

$^{\circ}C$	- Temperatura em graus Celsius
d	- Mínima dimensão de pelo menos 95% da mistura de agregados
dmm	- Décimas de milímetro (0,1 mm)
D	- Máxima dimensão de pelo menos 90% da mistura de agregados
EA	- Equivalente de Areia
E	- Módulo de rigidez dos materiais
FI	- <i>Flakiness Index</i> (Índice de achatamento)
I_p	- Índice de penetração
kN	- kilo Newton
LA	- Coeficiente de <i>Los Angeles</i>
N_{dim}	- Número acumulado de passagens do eixo padrão (com 80 ou 130 kN)
N_{adm}	- Número acumulado de eixos padrão admissíveis (com 80 ou 130 kN), durante a vida útil.
pen25	- Penetração a 25 °C dum betume asfáltico
pen25 _r	- Penetração a 25 °C dum betume asfáltico recuperado
T	- Temperatura dum material
T_{AB}	- Temperatura de amolecimento pelo ensaio de anel e bola
T_{ar}	- Temperatura do ar
$TMDA_p$	- Tráfego médio diário anual de pesados no ano de abertura, em cada sentido e na via mais

	solicitada
V_a	- Volume de agregados
V_{am}	- Valor de adsorção do azul de metileno
V_b	- Volume de betume
V_m	- Porosidade
VMA	- <i>Voids in Mineral Aggregate</i> (Volume de vazios no esqueleto mineral)
V_t	- Volume total
V_v	- Volume de vazios
w	- Água nas camadas granulares e na fundação dum pavimento; factor de ponderação das temperaturas do ar

SIGLAS

AASHO	- <i>American Association of State Highway Officials</i>
AASHTO	- <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABGE	- Agregado Britado de Granulometria Extensa (<i>Tout-venant</i>)
APL	- <i>Analyseur de Profil en Long</i> (Analisador do Perfil Longitudinal)
ASTM	- <i>American Society of Testing Materials</i>
BPN	- <i>British Pendulum Number</i>
BS	- <i>British Standard</i> (Norma Britânica)
BTDC	- <i>Bitumen Test Data Chart</i>
CAL	- Coeficiente de Atrito Longitudinal
CAT	- Coeficiente de Atrito Transversal
CBMT	- Compactação relativa à Baridade Máxima Teórica
CBR	- <i>Californian Bearing Ratio</i> (Índice Californiano de Capacidade de Carga)
CEDEX	- <i>Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas</i> (Espanha)
CEN	- Comité Europeu de Normalização
CETO	- Caderno de Encargos Tipo Obra
CFP	- Caracterização Final do Pavimento
CRT	- <i>Coeficiente de Razonamiento Transversal</i>
CTG	- Cláusulas Técnicas Gerais

CTM	- <i>Circular Track Texture Meter</i>
DNER	- Departamento Nacional de Estradas Rodagem (Brasil)
DNER-ME	- Método de Ensaio do DNER
DNER-PRO	- Procedimento do DNER
DNIT	- Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (ex-DNER) (Brasil)
DNIT-ES	- Especificação de Serviço do DNIT
DPC	- Directiva dos Produtos de Construção
EEE	- Espaço Económico Europeu
EFI	- <i>European Friction Index</i> (Índice Europeu de Atrito)
EN	- <i>European Norm</i> (Norma Europeia)
EP	- Estradas de Portugal (ex-JAE)
ETD	- <i>Estimated Texture Depth</i> (Profundidade Estimada da Textura)
EUA	- Estados Unidos da América
FWD	- <i>Falling Weight Deflectometer</i> (Deflectómetro de Impacto)
GC	- Grau de Compactação
GN	- <i>Grip Number</i>
HA	- <i>Highways Agency</i> (Reino Unido)
InIR	- Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias
IPQ	- Instituto Português da Qualidade
IFI	- <i>International Friction Index</i> (Índice Internacional de Atrito)
IRI	- <i>International Roughness Index</i> (Índice de Irregularidade Internacional)
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
JAE	- Junta Autónoma de Estradas
LCPC	- <i>Laboratoire Central des Ponts et des Chaussées</i> (França)
LNEC	- Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEC E	- Especificação LNEC
MACOPAV	- Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional
MF	- <i>Ministerio de Fomento</i> (Espanha)
MBQ	- Mistura Betuminosa a Quente
MPD	- <i>Mean Profile Depth</i> (Profundidade Média do Perfil)
MTD	- <i>Mean Texture Depth</i> (Profundidade Média de Textura)
NLT	- <i>Normas del Laboratorio de Transportes</i> (Espanha)

NP	- Norma Portuguesa
PG-3	- <i>Pliego de Prescripciones Técnicas Generales</i> (Espanha)
PIARC	- <i>Permanent International Association of Road Congress</i>
PSV	- <i>Polished Stone Value</i> (Coeficiente de Polimento Acelerado)
RTFOT	- <i>Rolling Thin Film Oven Test</i>
SCRIM	- <i>Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine</i>
SI	- <i>Système International d'unités</i>
SUPERPAVE	- <i>Superior Performing Pavements</i>
TRB	- <i>Transportation Research Board</i> (EUA)
TRL	- <i>Transport Research Laboratory</i> (Reino Unido)
TSM	- Tambor Secador Misturador
UNE	- <i>Una Norma Española</i> (Norma Espanhola)

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento Temático

A rede rodoviária apresenta-se como uma ferramenta indispensável para o desenvolvimento socioeconómico de qualquer país ou região, devido à possibilidade de comunicação e trocas comerciais que permite dentro de uma sociedade.

Constituída em Julho de 1927, a Junta Autónoma das Estradas (JAE) apresentava-se como um organismo nacional com autonomia administrativa e contabilidade própria a quem foi atribuída a “construção de modernas pavimentações, a reconstrução das antigas em grandes troços, a reparação e construção das obras de arte mais importantes e o estudo e construção das grandes extensões de estradas que faltam para concluir a rede do Estado” (EP, 2011).

De forma a garantir os pressupostos de projecto e a melhor qualidade de execução, o trabalho da entidade executante da obra (Adjudicatário) é regulado por um Caderno de Encargos, emitido pela entidade adjudicante (Dono de Obra) e que estabelece os pressupostos a cumprir na formulação, produção, aplicação e verificação da qualidade e conformidade dos trabalhos executados.

A verificação das características finais de cada camada de um pavimento, apresentam-se como uma das actividades mais importantes associada às obras de pavimentação, sendo actualmente uma obrigação fundamental do Adjudicatário, a qual quantifica a qualidade final do produto executado.

O Caderno de Encargos Tipo Obra (CETO) da JAE sofreu a sua última actualização em Março de 1998, sendo em anos anteriores e posteriores um documento de referência para a construção de vias rodoviárias no nosso país, servindo não só para obras municipais a cargo dos respectivos municípios mas também para outras entidades concessionárias de obras rodoviárias.

Com a necessidade de harmonizar e adaptar os critérios nacionais aos aplicados no resto da Europa, foi editado em Fevereiro de 2009 o CETO da Estradas de Portugal, S.A. (EP), que veio substituir o documento anteriormente em vigor, publicado pela JAE, trazendo consigo alterações significativas, nomeadamente:

- Adaptação do documento ao acervo normativo europeu que regula a execução de ensaios de caracterização de materiais e do produto construído, assim como à legislação europeia sobre produtos de construção;
- Introdução de novas técnicas e procedimentos de pavimentação, que entretanto se tornaram prática comum, como a utilização de misturas betuminosas modificadas com borracha, de reciclagens *in situ* com cimento ou emulsão, ou ainda as misturas betuminosas recicladas a quente em central;
- Modificação dos procedimentos e frequência de ensaios para a avaliação dos critérios de aceitação e rejeição das camadas, assim como dos valores limite desses critérios.

1.2 Objectivos e Fases do Trabalho

O objectivo principal deste trabalho é a avaliação dos valores limite admitidos pelos novos critérios de aceitação/rejeição para as várias camadas que constituem a construção de novos pavimentos flexíveis, para a rede rodoviária nacional.

Assim, apresenta-se um estudo comparativo com outros documentos editados por entidades com responsabilidades idênticas às da EP, não só em Portugal, mas também em países como Espanha, Brasil e Inglaterra.

Foi realizado um estudo económico envolvendo as penalizações económicas introduzidas nos parâmetros de conformidade das camadas quando se verifica uma situação de incumprimento com o estabelecido como condição de aceitação. Estas penalizações permitem que a camada seja aceite mediante uma redução do pagamento do trabalho executado.

Para tal, foram sintetizados os conhecimentos actuais envolvendo a construção de pavimentos flexíveis, abrangendo a sua tipologia e soluções construtivas admissíveis, uma caracterização dos materiais que os compõem, os procedimentos de formulação, de produção e de aplicação de misturas betuminosas a quente e ainda as anomalias e os mecanismos que lhes dão origem.

Descrevem-se as principais alterações que o novo acervo normativo impôs no CETO da EP, através da comparação com o CETO anteriormente em vigor, publicado pela JAE.

A análise dos critérios de aceitação/rejeição direcciona-se exclusivamente à verificação da conformidade das camadas executadas, considerando-se que os materiais aplicados cumprem com os requisitos exigidos pelo CETO na fase de fabrico e aplicação.

O estudo abordará apenas as soluções construtivas para camadas que integram os pavimentos flexíveis, dado a sua aplicação predominante não só em Portugal, mas também em toda a Europa (COST 333, 1999).

A metodologia utilizada baseou-se no recurso ao seguinte tipo de documentos:

- Cadernos de Encargos para trabalhos de pavimentação, publicados por entidades nacionais e internacionais;
- Trabalhos académicos que abordassem a problemática da construção dos pavimentos flexíveis e as metodologias utilizadas para a verificação da sua conformidade.
- Estudos nacionais e internacionais sobre as características funcionais e estruturais dos pavimentos flexíveis e valores de referência a cumprirem para que seja garantida uma utilização segura e durável.
- Utilização de dados de um caso de estudo de uma obra real que permitisse avaliar as alterações dos critérios de aceitação/rejeição agora adoptados no CETO da EP.

1.3 Conteúdo da Dissertação

Em seguida descreve-se a organização da dissertação, que se apresenta dividida em 7 capítulos, tendo em vista a concretização dos objectivos propostos.

Neste primeiro capítulo, após ser apresentado o enquadramento temático para a realização deste trabalho, são enunciados os objectivos propostos assim como a metodologia utilizada para a sua concretização.

No segundo capítulo são abordados os conceitos associados aos pavimentos flexíveis, desde a sua constituição e função, passando por uma caracterização dos materiais que os constituem. São

igualmente abordados os processos de formulação, de fabrico e de colocação em obra, para que no fim sejam descritas as anomalias mais comuns nos pavimentos flexíveis e as causas para a sua ocorrência.

No capítulo 3, explica-se a função e objectivos de um Caderno de Encargos, seguindo-se uma apresentação do conteúdo do novo CETO da EP. Ainda para este documento, são apresentadas e explicadas as principais alterações ocorridas neste documento em relação ao anterior editado pela extinta JAE, em 1998, tendo em vista a actualização e adaptação ao novo acervo normativo europeu.

No capítulo 4 descrevem-se os principais tipos de especificações e as metodologias utilizadas pelas várias entidades para a avaliação dos requisitos finais das camadas aplicadas, desde a camada de coroamento da fundação (leito do pavimento), passando pelas camadas não ligadas, até à camada superficial do pavimento flexível (camada de desgaste), incluindo também o procedimento utilizado na Caracterização Final do Pavimento.

Ainda neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos do estudo comparativo realizado no âmbito deste trabalho, através da análise dos critérios de aceitação/rejeição das camadas e respectivos valores limite admitidos nos Cadernos de Encargos das várias entidades incluídas neste estudo. Foram criados quadros onde se apresentam os critérios e valores limite utilizados por cada entidade, para cada camada de um pavimento flexível, apresentando-se em anexo (Anexo A).

No quinto capítulo é realizada uma avaliação às expressões utilizadas no CETO da EP para a determinação do valor das penalizações económicas aplicadas ao Adjudicatário, sendo comparadas com as penalizações aplicadas por outras entidades e tendo em conta os critérios que as estabelecem. São também apresentadas propostas para a introdução de incentivos económicos de forma a premiar o Adjudicatário pela execução de um pavimento de qualidade superior.

No sexto capítulo é realizada a comparação entre os actuais critérios do CETO da EP com os definidos no CETO da JAE, recorrendo aos dados relativos a um trecho de via recém-construído, sendo avaliados os critérios para as camadas não ligadas, para as compostas por misturas betuminosas a quente e a caracterização final do pavimento.

No sétimo e último capítulo são apresentadas as principais conclusões obtidas na realização deste trabalho, referindo algumas das dificuldades encontradas, assim como algumas propostas para o desenvolvimento futuro nesta matéria.

2 PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS FLEXÍVEIS

2.1 Introdução

Neste capítulo será feita uma introdução referente ao estudo sobre a constituição dos pavimentos rodoviários flexíveis. Assim, pretende-se inicialmente apresentar os tipos de pavimentos que constituem as redes rodoviárias e, dando maior atenção aos pavimentos flexíveis, descrever a disposição das várias camadas num pavimento deste tipo, enunciando a função que cada uma desempenha.

No subcapítulo 2.3 é apresentada uma caracterização dos materiais que constituem as diversas camadas de um pavimento flexível, dando-se especial atenção aos requisitos apresentados no CETO da EP e à respectiva descrição dos ensaios de caracterização dos materiais.

Na secção 2.4 dar-se-á atenção aos processos de formulação das misturas betuminosas para obtenção das quantidades e características dos materiais constituintes das mesmas, fazendo-se também uma referência aos processos de produção a quente em central, apresentando as várias disposições possíveis do equipamento. Serão ainda descritos os procedimentos usualmente adoptados para a colocação em obra e compactação das camadas.

Finalmente, e tendo em conta as principais anomalias registadas num pavimento deste tipo, serão descritas no capítulo 2.5 aquelas que dão origem às degradações mais comuns num pavimento flexível.

2.2 Características dos Pavimentos Rodoviários

Um pavimento rodoviário é composto por um conjunto de camadas sobrepostas, devidamente compactadas, com a função de resistir à repetida aplicação das cargas transmitidas pelos pneumáticos dos veículos, durante o período de vida, de modo a que as pressões verticais nele aplicadas sejam degradadas ao longo da sua espessura e se tornem mais reduzidas quando atingem a superfície da fundação que o suporta.

A constituição e as características de um pavimento rodoviário dependem das condições de fundação e dos materiais de pavimentação disponíveis, das acções climáticas e da intensidade do tráfego que sobre ele se prevê que actuem. Na Figura 2.1 apresentam-se as solicitações a que um pavimento está normalmente sujeito.

A solicitação do tráfego é expressa através de uma acção vertical repetida na superfície do pavimento e por uma acção tangencial (relativa à reacção necessária para a circulação do veículo e às acções decorrentes das travagens) que actua num plano entre o pneu e a superfície do pavimento. Este dado será mais desenvolvido no subcapítulo relativo ao dimensionamento dos pavimentos.

Prevê-se também que um pavimento rodoviário deva resistir às acções climáticas, nomeadamente à temperatura e à água. Esta última poderá ter origem tanto na precipitação atmosférica como numa ascensão vinda do nível freático, perto da fundação. Quando a água se apresenta em excesso, pode afectar o teor em água das camadas não ligadas, reduzindo a sua resistência mecânica. Já a temperatura do ar afecta a rigidez das camadas ligadas, fazendo com que este parâmetro diminua à medida que a temperatura do ar, e consequentemente da camada, aumenta.

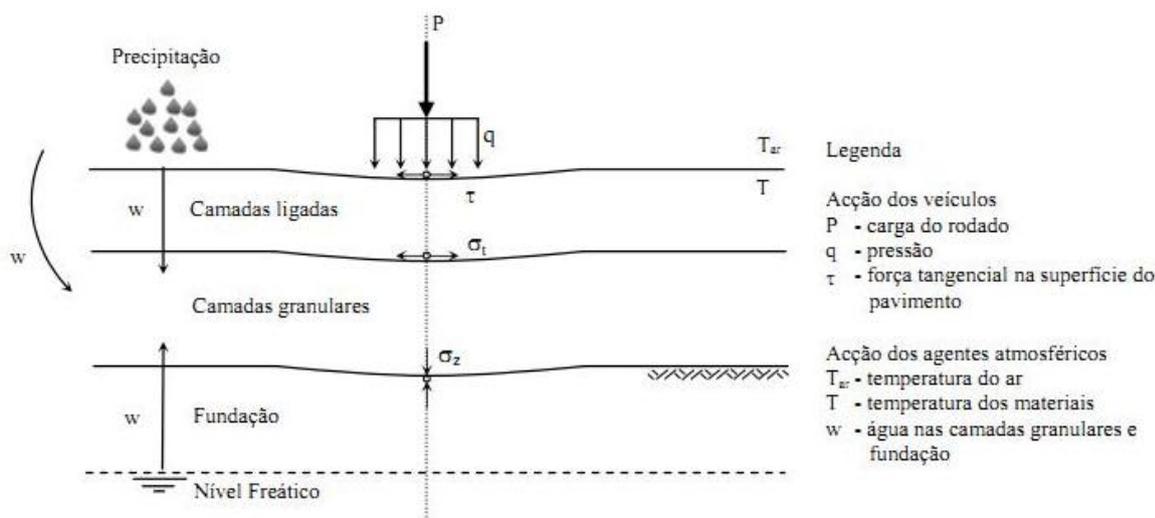


Figura 2.1 - Solicitações num pavimento rodoviário (Silva, 2005)

Um pavimento deve proporcionar adequadas condições de circulação aos seus utentes e deve estar preparado para manter essas características ao longo do período para o qual foi dimensionado. Para tal, são-lhe designadas funções estruturais e funcionais.

As qualidades funcionais estão dirigidas para as exigências relacionadas com a segurança e o conforto dos utilizadores, assim como com a economia de circulação associada aos veículos. Referem-se essencialmente às características superficiais dos pavimentos como a sua regularidade e rugosidade.

As qualidades estruturais estão relacionadas com a capacidade do pavimento para suportar os esforços a que é sujeito, sem sofrer alterações (deformações ou outro tipo de anomalias) além de determinados valores limite e que conseqüentemente comprometam as qualidades funcionais.

2.2.1 Tipos de Pavimentos

A grande maioria das soluções construtivas aplicadas em Portugal, no que a pavimentos rodoviários diz respeito, são constituídas por camadas de misturas betuminosas aplicadas sobre uma ou duas camadas de material granular não ligado e previamente compactado. A esta solução dá-se o nome de pavimento rodoviário flexível.

Além desta solução, existem outras duas que apresentam um comportamento distinto da primeira devido aos materiais que as constituem. Esses tipos de pavimentos são conhecidos como pavimentos rígidos e pavimentos semi-rígidos. No Quadro 2.1 apresentam-se as características que os definem.

Segundo Branco et al. (2008), os pavimentos rígidos são constituídos por uma ou duas camadas inferiores compostas por material granular onde assenta uma última camada composta por betão de cimento, ou seja, material granular estabilizado com ligantes hidráulicos.

Quadro 2.1 - Tipos de pavimentos em função do ligante e deformabilidade (Branco, et al., 2008)

Tipo de Pavimento	Tipo de Ligante	Deformabilidade
Flexível	Hidrocarbonados	Elevada
Rígido	Hidráulicos	Muito reduzida
Semi-rígido	Hidrocarbonados e hidráulicos	Reduzida

O mesmo autor caracteriza a constituição dos pavimentos semi-rígidos como sendo uma fusão entre as soluções construtivas adoptadas para pavimentos flexíveis e para pavimentos rígidos. Posto isto, os pavimentos semi-rígidos são compostos por uma camada inferior com material granular, seguido por uma outra com o mesmo material mas estabilizado com ligante hidráulico, e finalmente por uma ou duas camadas constituídas por misturas betuminosas. A esta solução dá-se o nome de “tradicional”, existindo ainda a possibilidade de utilizar uma camada de desgaste com ligante hidráulico sobre uma com mistura betuminosa, à qual se atribui a designação “invertida”.

No que à deformabilidade diz respeito, e verificando pelo quadro anterior, distinguem-se comportamentos diferentes consoante o tipo de ligante utilizado. Destaca-se que a utilização de ligantes betuminosos proporciona uma maior deformabilidade à camada do pavimento contrastando com a baixa deformabilidade de um pavimento rígido conferida pela utilização de ligantes hidráulicos (usualmente cimento) na composição das camadas. Por sua vez, a utilização de ambos os ligantes, em camadas distintas, confere uma deformabilidade intermédia quando comparada com a das anteriores soluções.

De acordo com Branco et al. (2008), submetendo os três tipos de pavimentos descritos (tendo em conta que se apresentam em bom estado de conservação) à acção de um eixo de carga total de 130 kN, obtêm-se intervalos de deformação que dependem essencialmente da constituição do pavimento:

- a) Pavimento flexível: entre 250 e 500 μm
- b) Pavimento semi-rígido: entre 200 e 400 μm
- c) Pavimento rígido: abaixo de 200 μm

Refere-se que, quanto maior o valor de deformação registado num pavimento, maior será a deformabilidade do mesmo e para o caso de pavimentos fendilhados, essa mesma deformação apresenta valores bem superiores aos atrás apresentados.

2.2.2 Camadas dum Pavimento Rodoviário

As várias camadas que constituem um pavimento rodoviário têm diferentes funções e variam nos materiais que as compõem. Sendo certa a maior utilização de pavimentos rodoviários flexíveis no nosso país, será dada maior atenção a esta solução. Apresenta-se a seguir (Figura 2.2) a constituição tipo desta solução construtiva, identificando-se as suas características.

As misturas betuminosas são compostas por materiais granulares aglutinados com um ligante betuminoso, podendo ainda ser adicionado filler comercial (habitualmente pó de calcário). Estas misturas compõem a camada de desgaste, a camada de ligação ou de regularização e para situações de tráfego intenso, também a camada de base do pavimento.

As camadas não ligadas, geralmente designadas por camadas granulares, são compostas por materiais britados ou solos estabilizados mecanicamente e formam as camadas de base, de sub-base e de leito do pavimento, sendo que esta última se insere nos trabalhos de terraplanagem.

A camada de desgaste é a camada superficial dum pavimento rodoviário e tem como funções resistir às cargas induzidas pelo tráfego, às acções do clima e ainda deve cumprir com as características mínimas funcionais para o normal desenvolvimento do tráfego e conforto dos seus utentes. É usualmente a camada menos espessa do conjunto de camadas construídas. Em situações de tráfego ligeiro ou reduzido, a camada de desgaste pode ser construída através de um tratamento superficial (Quaresma, 2011).

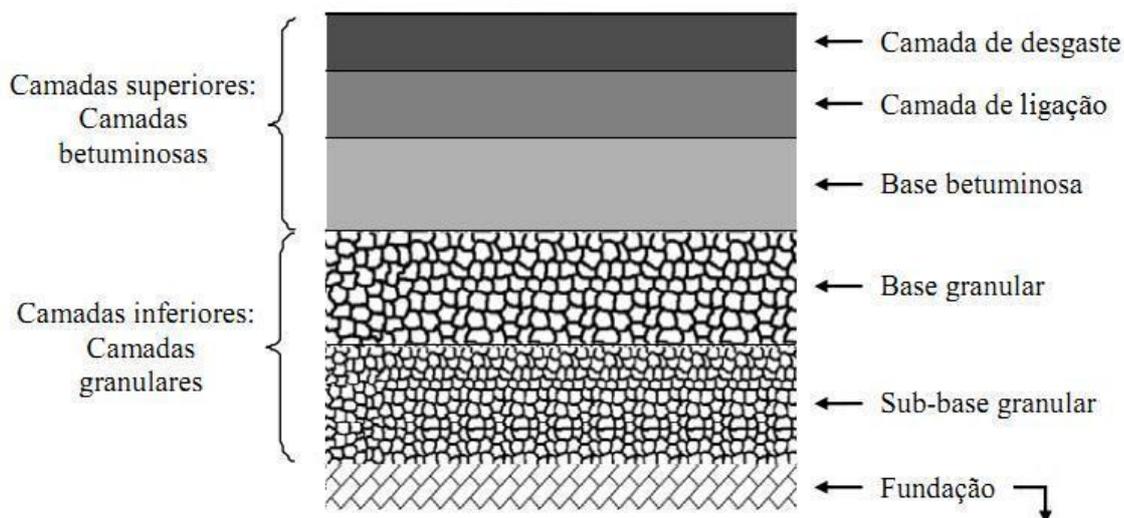


Figura 2.2 - Constituição tipo dum pavimento rodoviário flexível (adaptado de Silva, 2005)

A definição de camada de ligação surge com o novo acervo normativo e segundo a EN 13108-1 (IPQ, 2011) é uma camada do pavimento aplicada entre a camada de base e a camada de desgaste, sendo-lhe atribuídas funções estruturais, assim como a necessidade de apresentar uma superfície regular para a aplicação da camada de desgaste. Em vias de tráfego ligeiro ou reduzido, a sua aplicação pode não ser necessária (Quaresma, 2011).

A camada de regularização, tal como a camada de ligação, é também aplicada entre a camada de base e a camada de desgaste, contribuindo para a resistência global da estrutura e com uma superfície regular para a aplicação da camada de desgaste. No entanto, distingue-se da anterior pelo facto desta designação ser agora aplicada a obras de reabilitação das camadas superficiais, apresentando por isso, uma espessura variável (IPQ, 2011).

A camada de base tem a função de reduzir as tensões de compressão na sub-base e pode ser constituída por misturas betuminosas ou por materiais granulares. Para vias de tráfego mais intenso, utilizam-se normalmente as camadas de base compostas por misturas betuminosas em detrimento das outras compostas por materiais granulares, visto que não é habitual a coexistências das bases betuminosas e granulares.

A camada de sub-base é a primeira camada do pavimento propriamente dito e tem como funções assegurar um apoio uniforme à camada de base, dissipando igualmente as tensões verticais que esta lhe transmite para que sejam menores quando distribuídas à fundação do pavimento. A sua construção proporciona uma plataforma segura para a circulação do tráfego de obra. Pode ainda desempenhar uma função drenante e anti-contaminante, evitando a subida de material fino do solo de fundação para a camada de base. Para vias de tráfego que se prevejam de grande intensidade, é usualmente constituída por material britado sendo possível em casos de menor tráfego a utilização de solos seleccionados.

Por fim, a fundação de um pavimento rodoviário é a superfície do terreno onde assentam as várias camadas do pavimento. Esta camada irá absorver as tensões vindas da superfície do pavimento provocadas pela normal circulação dos veículos e por conseguinte, deve assegurar no longo prazo a manutenção das suas características iniciais sem prejuízo do bom funcionamento estrutural do pavimento. É considerada como sendo uma camada semi-infinita.

Em situações de aterro, ou noutras que se entenda necessário pela má qualidade do solo de fundação, é aplicada uma camada de solo ou agregado sobre a fundação à qual se dá o nome de leito do pavimento. Esta camada, sendo a última do aterro, é considerada como parte integrante da fundação do pavimento e tem como função garantir boas condições de fundação ao pavimento, permitir a circulação do tráfego de obra, definir uma adequada qualidade de nivelamento (e inclinação transversal) e ainda boas condições de compactação à primeira camada do pavimento (camada de sub-base).

2.3 Caracterização dos Materiais para Pavimentação

Como foi referido anteriormente, as várias camadas que compõem um pavimento rodoviário podem ser constituídas por diferentes materiais, consoante a sua função e solicitações a que se prevê que venham a estar sujeitas.

No caso dos pavimentos flexíveis destacam-se como matérias-primas essenciais os solos, os agregados e o betume. No entanto, a caracterização que a seguir se apresenta, estender-se-á aos ligantes hidráulicos e aos produtos com origem nestas matérias-primas como as emulsões betuminosas e as misturas betuminosas fabricadas a quente. A seguir, introduzem-se os conceitos essenciais associados à sua caracterização.

2.3.1 Solos

A utilização de solos seleccionados na construção de camadas de pavimentos rodoviários pode abranger várias camadas do pavimento, consoante a intensidade do tráfego que se prevê. No capítulo 14.03 do CETO da EP (EP, 2009c) são apresentadas como possibilidades a sua utilização em camadas de sub-base, em camadas de regularização (no enchimento de bermas) e ainda em camadas de desgaste (camadas traficadas não revestidas).

No entanto, a sua maior aplicação concentra-se nas camadas de sub-base e leito do pavimento (que se inclui nos trabalhos de terraplanagens (EP, 2009b)), logo será dada maior atenção a estas duas camadas. Estes materiais também podem ser tratados com ligantes hidráulicos ou não, consoante a necessidade de melhorar o seu comportamento mecânico ou sensibilidade à água.

Quanto aos solos que se destinam à camada de leito do pavimento, devem obedecer às características apresentadas na rubrica 14.01.2.1 do capítulo 14.01 do CETO da EP (EP, 2009b), referente aos trabalhos de terraplanagens.

Quando se destinam a camadas de sub-base, devem cumprir os requisitos constantes no Quadro 14.03.1a do capítulo 14.03 do CETO da EP (EP, 2009c).

No Quadro 2.2, apresentam-se as referidas características para as duas camadas, assim como os valores de referência dos ensaios, indicando-se as normas que regem as condições de ensaio, indicadas no capítulo 14.00 do CETO da EP (EP, 2009a).

Acrescenta-se que os solos a utilizar devem ser de boa qualidade, isentos de matéria orgânica, de materiais expansivos, detritos ou outras quaisquer substâncias que alterem o melhor comportamento mecânico deste material.

Quanto aos tipos de solos a utilizar nestas camadas, o Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional (JAE, 1995), editado pela Junta Autónoma das Estradas e a seguir

designado por MACOPAV, prevê a definição de seis classes (S_0 a S_5), considerando as características geotécnicas definidas na norma ASTM D 2487 e em função do seu “índice californiano de capacidade de carga” (CBR - *Californian Bearing Ratio*) tendo em conta as condições mais desfavoráveis previsíveis em obra, após a sua entrada em serviço (Branco, et al., 2008).

Quadro 2.2 - Requisitos dos solos seleccionados (adaptado de EP, 2009a/b/c)

Requisitos / Propriedades	Referência normativa	Unidade	Valores de referência	
			Camada de leito do pavimento	Camada de sub-base
Dimensão máxima	LNEC E 196	mm	75	75
Percentagem de material que passa no peneiro nº 200 ASTM, máxima	LNEC E 196	%	20	15
Limite de liquidez, máximo	NP 143	%	25	25
Limite de plasticidade, máximo	NP 143	%	6	6
Equivalente de areia, mínimo	LNEC E 199	%	30	30
Valor de azul de metileno (material dimensão inferior a 75 μm), máximo	AFNOR 18-592	-	2,0	1,5
CBR 95% compactação relativa (Proctor Modificado), mínimo	LNEC E 198	%	10	20
Expansibilidade (ensaio CBR), máxima	NF P94-078	%	1,5	1,5

No Quadro 2.3, apresentam-se as várias características antes mencionadas bem como a adequabilidade do solo para constituir o corpo do aterro, a camada leito de pavimento e/ou a camada de sub-base.

Analisando o quadro antes referido (Quadro 2.3), verifica-se que os solos que poderão ser utilizados em camadas de leito do pavimento são aqueles pertencentes às classes S_2 (apenas solos do tipo SC), S_3 , S_4 e S_5 . Já aqueles que se destinam a camadas de sub-base, devem pertencer às classes S_4 ou S_5 . Para o corpo do aterro, todas as classes de solos poderão ser utilizadas à excepção do solo do tipo OL pertencente à classe S_0 .

Refira-se que, em situações onde o material se enquadra na classe de solo adequada à camada a que se destina, mas não cumpre os requisitos apresentados no Quadro 2.2, deve ser rejeitada a sua utilização, dado que as especificações apresentadas no CETO da EP deverão, sempre que possível, prevalecer.

No entanto, poderão ser definidas cláusulas técnicas especiais adaptadas à obra em questão que se sobrepõem às definidas no CETO.

2.3.2 Agregados

A utilização de agregados em pavimentos rodoviários é fundamental, não só pela possibilidade de constituir camadas não ligadas (como a camada de base, a camada de sub-base e até a camada de leito de pavimento), mas também pela necessidade de incorporá-los nas misturas betuminosas, onde ocupam 75 a 85% do volume, com o objectivo de, segundo Branco et al. (2008), criar um esqueleto pétreo que resista às degradações causadas pelo tráfego.

Silva (2005) refere que os agregados devem garantir estabilidade e compacidade à mistura betuminosa, aumentar a sua resistência mecânica e assegurar uma rugosidade superficial suficiente para a circulação dos veículos.

Quadro 2.3 - Classes de solos segundo o MACOPAV (JAE, 1995)

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

N – não admissível; P – possível; S - admissível

Este material pode ser proveniente de rochas ígneas, sedimentares ou metamórficas e pode ter origem natural, artificial ou podem ainda ser reciclados (CEN, 2002):

- Naturais - agregados de origem mineral que não sofreram qualquer transformação além da mecânica (britagem).
- Artificiais - agregados que resultam de um processo industrial que implique alterações térmicas ou outras.
- Reciclados - agregados provenientes da transformação de materiais inorgânicos com origem na demolição de edifícios, proporcionando um reaproveitamento dos materiais.

Os agregados com origem na britagem de rocha são, são usualmente designados por “agregado britado de granulometria extensa” (ABGE).

Outro elemento granular utilizado nas misturas betuminosas é o filer, que diz respeito ao material em que a maioria das partículas tem dimensões inferiores a 0,063 mm, de acordo com o acervo normativo em vigor. À mistura de materiais composta pelo betume e filer dá-se o nome de mástico betuminoso e a ligação deste com os restantes agregados dará origem à mistura betuminosa.

Quando incorporados numa mistura betuminosa, são responsáveis pela compacidade e impermeabilidade da mistura. As características físicas e químicas do filer influenciam o comportamento das misturas betuminosas (Silva, 2005).

Alguns tipos de filer ao reagirem com o betume, tornam-no mais rígido e como consequência, mais susceptível à fractura. Outros há que tornam a mistura betuminosa mais susceptível ao ataque da água e por isso potenciam a desagregação da mistura (Fontes, 2009).

Em linhas gerais, os agregados devem ser caracterizados quanto à sua forma geométrica, características físicas e comportamento mecânico. Branco et al. (2008) referem algumas características a estudar, que a seguir se apresentam:

a) Granulometria

A granulometria é avaliada através da crivagem da mistura de agregados secos (NP EN 933-1), sendo depois pesada a fracção retida em cada peneiro para obtenção da percentagem dessa massa em relação à massa total da amostra. Esta é uma das principais características responsáveis pelo comportamento das camadas, sejam estas ligadas ou não, devido à possibilidade de degradação das cargas através do imbricamento (atrído) entre as partículas do material.

Os resultados do estudo desta característica são apresentados na forma de uma curva granulométrica que permite avaliar de forma objectiva a distribuição dos elementos por tamanhos, dando-nos a mínima (d)¹ e máxima (D)² dimensão das partículas que constituem a mistura de agregados.

De acordo com Luzia (2008), é importante obter uma granulometria bem graduada (extensa) em camadas não ligadas, visto que desta forma obteremos um aumento da densidade relativa para a mesma compactação, o que permitirá uma maior degradação das cargas pelo atrído gerado entre os elementos.

Fontes (2009) refere que, para as misturas betuminosas, uma redução de 5% da fracção 0/2 mm provoca uma diminuição na formação de rodeiras entre 15 a 25% e ainda que o aumento da fracção grossa melhora a resistência à formação de rodeiras.

b) Resistência

A resistência dos agregados grossos à fragmentação é geralmente caracterizada pela realização do ensaio de desgaste na máquina de Los Angeles. Este procedimento está normalizado pela NP EN 1097-2 (IPQ, 2002b) e consiste, em linhas gerais, na colocação de uma amostra de material com uma dada granulometria num cilindro de aço, junto com um determinado número de esferas de aço, que

¹ Mínima dimensão do material define-se como a maior abertura do peneiro através do qual não passam mais do que 5% da massa inicial da amostra.

² Máxima dimensão do agregado define-se como a menor abertura do peneiro através do qual passam pelo menos 90% da massa inicial da amostra.

roda sobre o seu eixo horizontal, num dado número de rotações, provocando o desgaste e fragmentação dos agregados. A massa final de material, expressa em percentagem em relação à massa inicial, que no fim do ensaio passa num peneiro de 1,6 mm de dimensão nominal da sua malha quadrada define a perda por desgaste de Los Angeles (Branco, et al., 2008).

Quanto mais baixo for o coeficiente de Los Angeles, maior será a resistência do material. Assim, um coeficiente de 50 (LA_{50}) indica um material de fraca qualidade mecânica, ao passo que um coeficiente de 20 (LA_{20}) representará um outro de qualidade suficiente para garantir o sucesso da camada.

O CETO da EP (EP, 2009c) prevê, além do ensaio de desgaste na máquina Los Angeles, a realização do ensaio de micro-Deval (NP EN 1097-1 (IPQ, 2002a)), que pretende caracterizar o agregado em relação ao desgaste sofrido quando submetido a um determinado número de rotações num tambor de aço, juntamente com uma dada carga abrasiva (esferas de aço) e com a adição, ou não, de água. Quando a rotação termina, a percentagem de material retida num peneiro de 1,6 mm é utilizada para calcular o coeficiente micro-Deval que quanto menor for, maior será a resistência dos agregados ao desgaste.

Quando os agregados em avaliação se destinam a integrar misturas betuminosas para camada de desgaste, o CETO da EP (EP, 2009c) prevê a realização do ensaio de polimento acelerado, especificado pela norma NP EN 1097-8 (IPQ, 2003). Este ensaio simula a acção directa dos pneus dos veículos sobre uma amostra da mistura betuminosa a aplicar, e pretende quantificar a perda de rugosidade superficial das partículas grossas de agregado. Para medir o coeficiente de polimento acelerado (PSV) é utilizado um pêndulo britânico em três fases distintas do ensaio: antes (agregado novo), durante (agregado com algum desgaste) e após o ensaio de polimento (Branco, et al., 2008).

Assim, pretende-se a utilização de materiais duros, que resistam ao atrito entre as suas partículas, ao choque e ao desgaste produzido pelo tráfego na superfície do pavimento. O nível de resistência dos agregados à fragmentação tem influência nas características estruturais das camadas (sejam elas ligadas ou não), assim como nas características superficiais do pavimento, designadamente no coeficiente de atrito.

De acordo com conclusões apresentadas por Castelo Branco (Castelo Branco, 2010) relativas à qualidade das características mecânicas dos agregados disponíveis em Portugal, apenas uma baixa percentagem de material superava a categoria LA_{30} , tornando-se essa percentagem ainda mais baixa quando combinada com a categoria PSV_{50} para a resistência ao polimento. Os valores destas duas propriedades, são requisitos mínimos para os agregados que compõem as misturas betuminosas destinadas às camadas de desgaste³, de acordo com o Quadro 14.03.2m do CETO da EP (EP, 2009c).

c) Forma e Textura

A forma das partículas do agregado mineral deve ser relativamente cúbica, e a sua textura deverá também apresentar-se rugosa. Silva (2005) refere que estas características têm influência no comportamento da mistura betuminosa no que diz respeito à adesividade das partículas com o ligante, no atrito entre partículas e com os pneumáticos e ainda na resistência às deformações permanentes. O mesmo autor conclui que os agregados devem por isso ser britados e rugosos.

A forma é caracterizada pelo índice de achatamento, cujo procedimento vem descrito na NP EN 933-3 (IPQ, 2002c). Este ensaio consiste em duas acções de peneiração, para cada fracção granulométrica

³ Apenas para rochas granitóides. Para outras, assume-se LA_{20} .

(d_i/D_i). Inicialmente separam-se as fracções granulométricas que de seguida passam em peneiros de barra com ranhuras paralelas com aberturas iguais à metade da máxima dimensão da fracção do agregado ($D_i/2$). O índice de achatamento (FI) é dado em percentagem pela expressão (2.1) que a seguir se apresenta:

$$FI = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad (2.1)$$

onde:

M_1 - Soma das massas, em gramas, das partículas de cada uma das fracções granulométricas (d_i/D_i);

M_2 - Soma das massas, em gramas, das partículas de cada uma das fracções granulométricas que passa no peneiro de barras correspondente, com largura de ranhuras de $D_i/2$;

Quanto menor for a massa de material retida no peneiro de barras, maior será o índice de achatamento, e maior será o numero de elementos lamelados na mistura de agregados. Esta é uma situação a evitar visto que os elementos com estas características são mais frágeis e a sua presença excessiva conduz a uma diminuição da estabilidade da mistura betuminosa ou contribui para um excesso de ligante (Silva, 2005).

d) Limpeza

Esta característica diz respeito às impurezas que os agregados possam apresentar na sua superfície, portanto deseja-se que estes se apresentem isentos de argilas ou matéria orgânica dado que estas substâncias podem reduzir o atrito entre os elementos, podendo ocorrer variações volumétricas quando em contacto com a água e ainda a possibilidade de condicionar uma correcta adesividade do ligante com o agregado (Branco, et al., 2008).

Para avaliar esta característica são realizados os ensaios de equivalente de areia (EA) (NP EN 933-8, (IPQ, 2002d)) ou o ensaio de determinação do azul de metileno (NP EN 933-9, (IPQ, 2002e)).

O ensaio de equivalente de areia permite estimar a matéria fina associada a materiais mais grosseiros, dando uma indicação da limpeza do agregado. Sucintamente, o ensaio consiste em fazer, numa proveta, a suspensão aquosa do agregado obrigando a que o material grosseiro se deposite no fundo e o fino fique em suspensão durante algum tempo.

O ensaio de azul de metileno permite dar a conhecer as quantidades de argila e material fino presente no agregado e assim perceber a maior ou menor sensibilidade deste à água. Este ensaio consiste em aplicar quantidades crescentes duma solução de azul de metileno numa preparação com agregado fino (ou solo) até que seja coberta a superfície dessas partículas, por adsorção. De seguida, coloca-se uma gota da preparação num papel de filtro e verifica-se se ocorre a formação de uma auréola azul que traduz a existência de azul de metileno livre na preparação (Luzia, 2008).

O “valor de adsorção de azul de metileno” (V_{am}) é calculado para a fracção fina do agregado (0/0,075mm) e corresponde à quantidade de azul de metileno adsorvido por 100 g de material ensaiado (Luzia, 2008).

e) Adesividade agregado-betume

De acordo com Branco et al. (2008), quanto melhor for a afinidade química do ligante com o agregado melhor será a adesividade entre ambos, e portanto menos provável a separação destes por acção da água.

A avaliação desta característica está descrita na EN 12697-11 e pode ser feita visualmente. Consiste em verificar qual a percentagem de agregado revestido com ligante que ficou sem revestimento após um determinado tempo de imersão em água em condições normalizadas.

Em alternativa podem ser realizados ensaios para a obtenção da resistência conservada que consistem em comparar o comportamento à compressão de cilindros de misturas betuminosas, entre uns que foram sujeitos a uma imersão prévia, em água e durante um certo tempo, e outros que não.

A adesividade entre esses dois elementos é condicionada pela forma e textura do agregado bem como pela sua limpeza. Um agregado com uma textura muito lisa e uma forma arredondada diminui a qualidade da ligação com o betume, portanto não se recomenda a utilização de seixos provenientes de rios em misturas betuminosas, devendo os agregados destinados a esta utilização ser preferencialmente britados e rugosos (Silva, 2005).

2.3.3 Ligantes

A utilização de ligantes em camadas de pavimentos rodoviários tem como principal objectivo melhorar o comportamento mecânico das camadas e suportar cargas maiores e mais frequentes.

As camadas de sub-base são compostas por solos ou ABGE e as camadas de base por ABGE, podendo ser misturadas com ligantes hidráulicos (cal em solos ou cimento em solos e ABGE) para que se obtenha uma redução da plasticidade, da susceptibilidade destes à água e um melhoramento do seu comportamento mecânico.

As camadas superiores são compostas por misturas betuminosas que integram como ligante o betume. Este material pode ainda constituir emulsões betuminosas que se destinam à aplicação de regas betuminosas, misturas betuminosas a frio ou revestimentos superficiais.

A seguir, apresentam-se as principais características destes ligantes.

Ligantes Hidráulicos

A cal tem os seus requisitos definidos na NP EN 459-1 e pode ser utilizada como agente estabilizante numa vasta variedade de solos, exceptuando-se as areias, os solos que se apresentam muito orgânicos⁴ e os que tenham na sua composição química, elementos que reajam desfavoravelmente com a cal.

O tratamento com cal, denominado por Solo-Cal, destina-se principalmente a solos argilosos, tendo como objectivo reduzir a sua plasticidade. Esta redução ocorre quando a cal envolve as partículas de argila e reage com a água adsorvida por estas, envolvendo-as e reduzindo de imediato a sua susceptibilidade à água. Como consequência deste processo, há uma alteração da granulometria, da plasticidade e da resistência das partículas provocada pela sua cimentação (Branco, et al., 2008).

Branco et al. (2008) refere que o teor em cal a adicionar ao solo pode variar entre 3 e 7%. Além disso, o CETO da EP refere as propriedades que os solos devem apresentar para que sejam sujeitos a esta estabilização.

A mistura do solo com a cal é feita no local de execução dos trabalhos e após a compactação, a mistura deve ficar a curar sob uma camada de areia frequentemente humedecida ou sob uma rega

⁴ Com uma percentagem de matéria orgânica máxima até 2%.

betuminosa, para que se mantenha o teor em água do solo estabilizado e o processo decorra como previsto (Branco, et al., 2008).

O cimento, outro ligante hidráulico utilizado em trabalhos de pavimentação, é de acordo com o CETO da EP (EP, 2009c) que refere a NP EN 197-1, um material inorgânico finamente moído que quando em contacto com a água, e através de processos químicos e reacções de hidratação, dá origem a uma pasta que endurece e que torna o material mais resistente e estável, mesmo debaixo de água.

Segundo Branco et al. (2008), os cimentos mais usados em trabalhos de pavimentação são os da classe de resistência 42,5 e eventualmente os da classe 32,5, ambos do tipo CEM I⁵.

A adição de cimento (ou cal), pode ser feita aos solos que se destinam a constituir camadas de sub-base e que apresentem as propriedades referidas no Quadro 2.4 e constantes no CETO da EP (EP, 2009c).

Acrescenta-se que, para o caso da utilização do cimento, os solos devem apresentar-se isentos de matéria orgânica, de materiais expansivos, detritos ou outras quaisquer substâncias que alterem o melhor comportamento mecânico deste material.

Quadro 2.4 - Propriedades dos solos a tratar com ligantes hidráulicos, para sub-base (EP, 2009c)

Requisitos / Propriedades	Referência normativa	Unidade	Condições específicas de ensaio	Sub-base	
				Solo-Cimento	Solo-Cal
% mínima de material que passa no peneiro 63 mm	NP EN 933-1	%	Peneiração por via húmida	95	
% máxima de material que passa no peneiro 0,063 mm		%		30	
Limite liquidez (LL), máximo	NP 143	%	Aplicável a solos com cerca de 30%, ou mais, em massa, de partículas de dimensões inferiores a 0,05 mm	35	
Índice de plasticidade (IP), máximo		%	IP = LL-LP, em que LP é o limite de plasticidade determinado pela NP 143	15	

De acordo com os Quadros 14.03.5f e 14.03.5g do CETO da EP (EP, 2009c), os tratamentos Solo-Cimento e Solo-Cal para camadas de sub-base, devem apresentar uma percentagem mínima de ligante de 3% e um teor de água mínimo (em laboratório) de 95% e 90%, respectivamente.

A acção estabilizante do cimento depende do teor deste na mistura. Um baixo teor de cimento (entre 0,5 e 4%) conduz a uma diminuição da plasticidade do solo que pode, ou não, conduzir a um aumento da resistência mecânica do mesmo. Esta acção modificadora destina-se essencialmente a solos argilosos (Cristelo, 2001).

Por outro lado, quando ao solo é adicionado um teor de cimento maior (5 a 15%), pretende-se melhorar essencialmente o seu comportamento mecânico graças à acção aglutinante do cimento. Os

⁵ CEM I refere-se ao Cimento Portland tradicional, com 95 a 100% de clínquer.

solos a que se destinam esta estabilização são principalmente os arenosos e os pouco argilosos, sem presença de matéria orgânica (Cristelo, 2001).

A adição de cimento pode ainda ser feita ao ABGE para camadas de sub-base e base, devendo a mistura destes apresentar as propriedades enunciadas no Quadro 2.5.

O tratamento das camadas inferiores através da adição do cimento aos solos e ABGE destinados a camadas de sub-base e base, diminui a deformabilidade da estrutura final do pavimento, permitindo que esta seja inicialmente definida como do tipo rígida. No entanto, a entrada em serviço e sucessiva passagem dos veículos, irá provocar o fendilhamento destas camadas tratadas, passando a estrutura a comportar-se como um pavimento do tipo flexível.

Quadro 2.5 - Propriedades do ABGE tratado com cimento (adaptado de EP, 2009c)

Requisitos / Propriedades		Referência normativa	Unidade	Valores de referência	
				Sub-base	Base
% de ligante, mínimo		EN 14227-1	%	3 ^(a)	
Teor de água, mínimo		EN 13286-2	%	A declarar ^(b)	
Granulometria da mistura		NP EN 933-1	-		
Classificação da mistura por classe de resistência	Resistência à comp. característica (R_{ck})	EN 13286-41	MPa	Valor de projecto	
(a) - Poderá ser considerado um valor inferior se definido em projecto ou no estudo da composição;					
(b) - Ensaio de realização obrigatória; Valor é definido em projecto ou declarado pelo Adjudicatário;					

Betume

O betume asfáltico é o ligante mais utilizado em obras de pavimentação. Este produto resulta da destilação directa do petróleo bruto e embora apresente boas qualidades adesivas, a sua consistência varia com a temperatura a que está sujeito, isto é, torna-se mais fluido quando é aquecido e mais duro quando arrefece.

As especificações relativas a betumes e ligantes betuminosos são apresentadas na NP EN 12591 (IPQ, 2006), onde se referem os valores admissíveis para as várias características destes produtos. No Quadro 2.6, identificam-se as propriedades que os betumes devem apresentar, quando a sua penetração se situa entre 20 e 330 dmm.

Quadro 2.6 - Especificações para betumes de pavimentação entre 20 e 330 dmm (IPQ, 2006)

	Unidade	Método de ensaio	Tipos de betume								
			20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220	250/330
Penetração a 25 °C	x 0,1 mm	EN 1426	20-30	30-45	35-50	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220	250-330
Temperatura de amolecimento	0 °C	EN 1427	55-63	52-60	50-58	48-56	46-54	43-51	39-47	35-43	30-38
Resistência ao endurecimento, a 163 °C (a)											
- variação de massa, máxima, ±	%	EN 12607-1 ou EN 12607-3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0
- penetração, mínima	%		55	53	53	50	50	46	43	37	35
- temperatura de amolecimento após envelhecimento, mínima	°C	EN 1427	57	54	52	49	48	45	41	37	32
Temperatura de inflamação	°C	EN 22592 (b)	240	240	240	230	230	230	230	220	220
Solubilidade, mínima	% (m/m)	EN 12592	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
(a) O método de referência é o método RTFOF. (b) Ver 4.1.1.3											

As características dum betume variam consoante a sua origem, e portanto é fundamental estabelecer propriedades e métodos de ensaio que o caracterizem. Entre os vários ensaios apresentados no CETO da EP (EP, 2009a), destacam-se o da penetração e o da temperatura de amolecimento que, apesar de serem ensaios empíricos para a avaliação da viscosidade, permitem estimar outras propriedades importantes (Branco, et al., 2008).

A seguir, apresenta-se uma breve descrição destes ensaios e de outros que se entendem importantes de referir.

a) Penetração a 25 °C (pen25)

Este ensaio permite realizar uma medição indirecta da viscosidade do betume e os resultados obtidos inserem-se num intervalo de valores que estabelece a classificação do betume, como se pode verificar no Quadro 2.6.

Antes definido o procedimento no CETO da JAE pela ASTM D 5, está hoje referenciado no CETO da EP pela EN 1426, que entretanto foi transposta para NP (IPQ, 2010a).

Em linhas gerais, o ensaio consiste em determinar a profundidade de penetração de uma agulha normalizada, sob um peso de 100 g e durante 5 segundos, numa amostra de betume a uma temperatura de 25 °C. Na Figura 2.3, apresenta-se simplificada o desenvolvimento do ensaio.

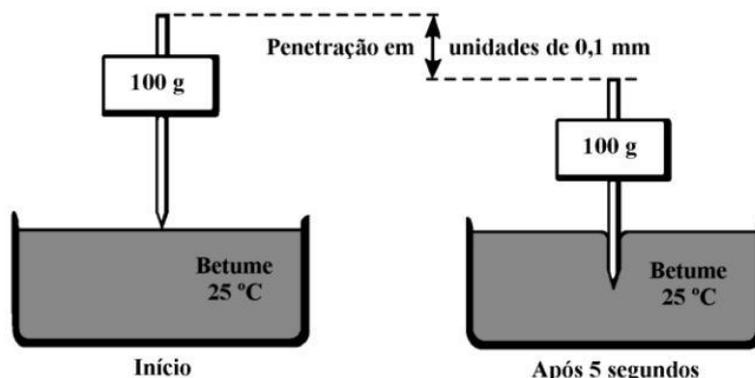


Figura 2.3 - Ensaio de penetração de betumes (Silva, 2005)

O ensaio de penetração é realizado três vezes, de forma a obter três medições da penetração. O valor final da penetração que caracteriza o betume, é a média dessas três medições arredondadas à unidade (Branco, et al., 2008).

A profundidade de penetração obtida neste ensaio é medida em décimas de milímetros (dmm⁶) e será este valor que irá caracterizar o betume, dentro de vários intervalos admissíveis. Os tipos de betume para pavimentação, caracterizados segundo o seu valor de penetração a 25 °C, são os seguintes: 10/20, 20/30, 35/50, 50/70, 70/100, 100/150, 160/220 e 250/330.

A título de exemplo, um betume 35/50 é um betume que registou uma penetração entre os 3,5 e 5 mm, ou seja, entre 35 e 50 dmm.

⁶ 1 dmm = 0,1 mm

Desta forma, os betumes com baixas penetrações (10/20 e 20/30) são designados como betumes duros e constituem normalmente misturas betuminosas de alto módulo. De acordo com Branco et al. (2008), os betumes mais utilizados em Portugal encontram-se na gama 35/50, 50/70 e 160/220 e a sua utilização está condicionada pelas condições climáticas e pelo tipo de trabalho a realizar. Os dois primeiros são os mais utilizados na execução de camadas superiores compostas por misturas betuminosas a quente, ao passo que um betume 160/220 é normalmente o escolhido para incorporar emulsões betuminosas.

b) Temperatura de amolecimento – Método do anel e bola (T_{AB})

Este ensaio permite classificar o comportamento do betume a temperaturas elevadas, e está normalizado pela EN 1427, já transposta para NP (IPQ, 2010b), sendo a EN a referência de ensaio apresentada no CETO da EP (EP, 2009a).

Sucintamente, este método (Figura 2.4) consiste em colocar uma esfera de aço com peso normalizado sobre uma amostra de betume contida num anel de latão. Depois de colocados em água, e aquecidos a uma temperatura crescente de 5 °C por minuto, inicia-se o amolecimento e escoamento do betume através do anel. Então, e depois de percorrerem 2,5 cm, regista-se a temperatura da água à qual o betume e a esfera tocam na base do suporte metálico.

Refira-se que durante este ensaio são usados dois provetes e a temperatura de amolecimento (T_{AB}) será a média das duas temperaturas registadas.

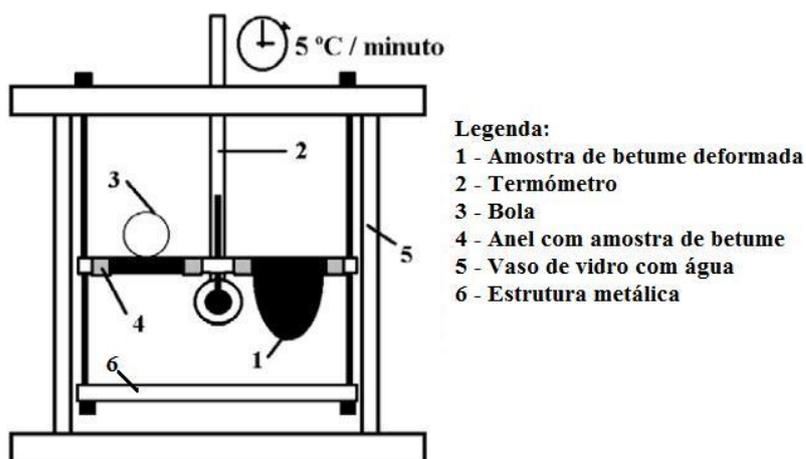


Figura 2.4 - Ensaio para a determinação da temperatura de amolecimento pelo método anel e bola (adaptado de Branco et al., 2008)

c) Resistência ao endurecimento

Para caracterizar esta propriedade é realizado um ensaio que mede o envelhecimento do betume por oxidação e evaporação, conhecido como *Rolling Thin Film Oven Test* (RTFOT), estando o procedimento normalizado pela EN 12607-1.

Sucintamente, o ensaio decorre numa estufa a 163 °C onde diversos recipientes em vidro com 35 gramas de betume cada, são sujeitos a 15 rotações por minuto durante 85 minutos, sendo insuflado ar quente a cada 3 ou 4 segundos, para o interior de cada um dos recipientes. A rotação das amostras assegura a exposição de novas superfícies do betume ao ar insuflado (Branco, et al., 2008; Bernucci, et al., 2006). Na Figura 2.5 apresenta-se um esquema e um exemplo do RTFOT.

No final do procedimento, determina-se a variação de massa sofrida pelo betume e ainda a sua penetração e temperatura de amolecimento, através dos métodos descritos anteriormente em a) e b). O

envelhecimento do ligante provocará uma diminuição na penetração e um aumento da temperatura de amolecimento e da viscosidade (Bernucci, et al., 2006).



Figura 2.5 - Esquema e exemplo do RTFOT (adaptado de Bernucci, et al., 2006)

d) Temperatura de inflamação

De acordo com Silva (2005), esta propriedade do ligante betuminoso refere-se à temperatura a partir da qual o betume se inflama automaticamente, na presença de uma fonte de calor. Esta reacção ocorre devido à libertação de vapores inflamáveis durante o aquecimento do betume a elevadas temperaturas.

O procedimento para este ensaio está referenciado no CETO da EP (EP, 2009a) pela norma EN ISO 2592. Na Figura 2.6, apresenta-se um esquema de ensaio para avaliação desta propriedade.

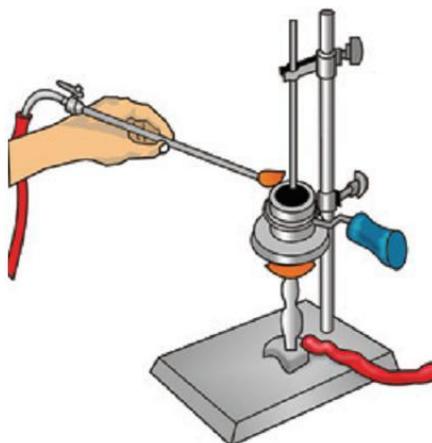


Figura 2.6 - Esquema do ensaio de determinação do ponto de inflamação do betume (Bernucci, et al., 2006)

Em linhas gerais, o ensaio é realizado com recurso a um equipamento denominado por *Cleveland Open Cup* e consiste na utilização dum recipiente preenchido com um dado volume de betume sujeito a um aquecimento progressivamente maior, provocando a libertação de vapores combustíveis. Em intervalos de tempo definidos, passa-se uma chama sobre a amostra aquecida de forma a provocar a combustão. A temperatura à qual este fenómeno ocorre será a temperatura de inflamação.

A determinação deste valor é fundamental para que o processo de fabrico, transporte e aplicação decorra sem incidentes. Para betumes normalmente utilizados em misturas betuminosas a quente, esta temperatura é normalmente superior a 230 °C (Bernucci, et al., 2006).

e) Solubilidade no tricloroetileno

Este ensaio está normalizado pela EN 12592 e tem como objectivo, segundo Silva (2005), avaliar a pureza do betume através da dissolução de uma pequena amostra deste ligante em tricloroetileno que de seguida é filtrada num filtro de fibra de vidro. Os materiais retidos no filtro serão as impurezas do betume.

f) Viscosidade cinemática

A viscosidade de um betume é uma propriedade que interessa conhecer, dado que permite saber a consistência dum betume a uma dada temperatura, fornecendo o intervalo de temperaturas em que este se apresenta apto para a mistura ou compactação.

Este ensaio está normalizado pela EN 12595 (CEN, 1999) e determina a viscosidade cinemática do betume a 60 °C e a 135 °C, que representam a temperatura de serviço máxima e a temperatura média de produção e espalhamento da mistura, respectivamente.

A viscosidade cinemática é obtida pelo tempo que um dado betume demora a percorrer uma distância entre dois pontos de um viscosímetro capilar, multiplicado por um factor correctivo que depende do equipamento utilizado. É representada em m²/s (unidade SI), muito embora seja mais conveniente a referência ao submúltiplo mm²/s, que equivale a 1 centistoke (cSt). Esta relaciona-se com a viscosidade dinâmica através da seguinte expressão (2.2):

$$\text{Visc. cinemática} = \frac{\text{Visc. dinâmica}}{\text{Massa específica}} \quad (2.2)$$

A viscosidade dinâmica é expressa em Pa.s, o que equivale a 10 P (poise).

O CETO da EP (EP, 2009c) indica valores mínimos para a viscosidade cinemática a 135 °C para betumes 35/50 e 50/70, que são respectivamente 370 e 295 mm²/s.

g) Ponto de fragilidade (ou rotura) de Fraass

Esta propriedade designa a temperatura mínima a partir da qual o betume atinge uma tensão crítica e fendilha, quando sujeito a uma acção de flexões repetidas. O ensaio para a sua determinação está normalizado pela EN 12593 no CETO da EP (EP, 2009a).

Esta característica tem uma importância reduzida para a realidade portuguesa devido às condições climáticas que Portugal apresenta. Contudo, na recém-publicada NP EN 12591:2011, esta propriedade é definida para todos os betumes de penetração como “a reportar”.

No entanto, no capítulo 14.03 do CETO da EP (EP, 2009c) apresentam-se valores para o ponto de fragilidade de Fraass para betumes 35/50 (-5 °C) e 50/70 (-8 °C).

Conhecendo os valores de pen₂₅ e T_{AB}, obtidos nos ensaios anteriormente descritos, é possível obter uma previsão do ponto de fragilidade de Fraass. Esta previsão é feita através do diagrama BTDC (*Bitumen Test Data Chart*), assumindo que a T_{AB} é aquela à qual um betume apresenta uma penetração de 800 dmm. Traçando uma recta por esses dois pontos, o ponto de rotura de Fraass é obtido pela intersecção dessa recta com a linha correspondente a uma penetração de 1,25 dmm. A seguir, apresenta-se o referido diagrama na Figura 2.7, desenvolvido por Heukelom no final da década de 60.

No eixo das abcissas, representa-se a temperatura (°C) em escala linear com passo de 25 °C, enquanto no eixo das ordenadas representam-se duas propriedades (penetração e viscosidade) com escalas diferentes. A penetração é representada em escala logarítmica e a viscosidade tem uma escala ajustada

de modo a que os betumes com susceptibilidade térmica normal, pudessem ser também representados por rectas (Branco, et al., 2008).

Segundo Silva (2005), quanto maior for a inclinação de uma recta representativa dum betume, maior será a sua susceptibilidade térmica e como consequência, pior será o seu comportamento em locais com grandes variações de temperatura.

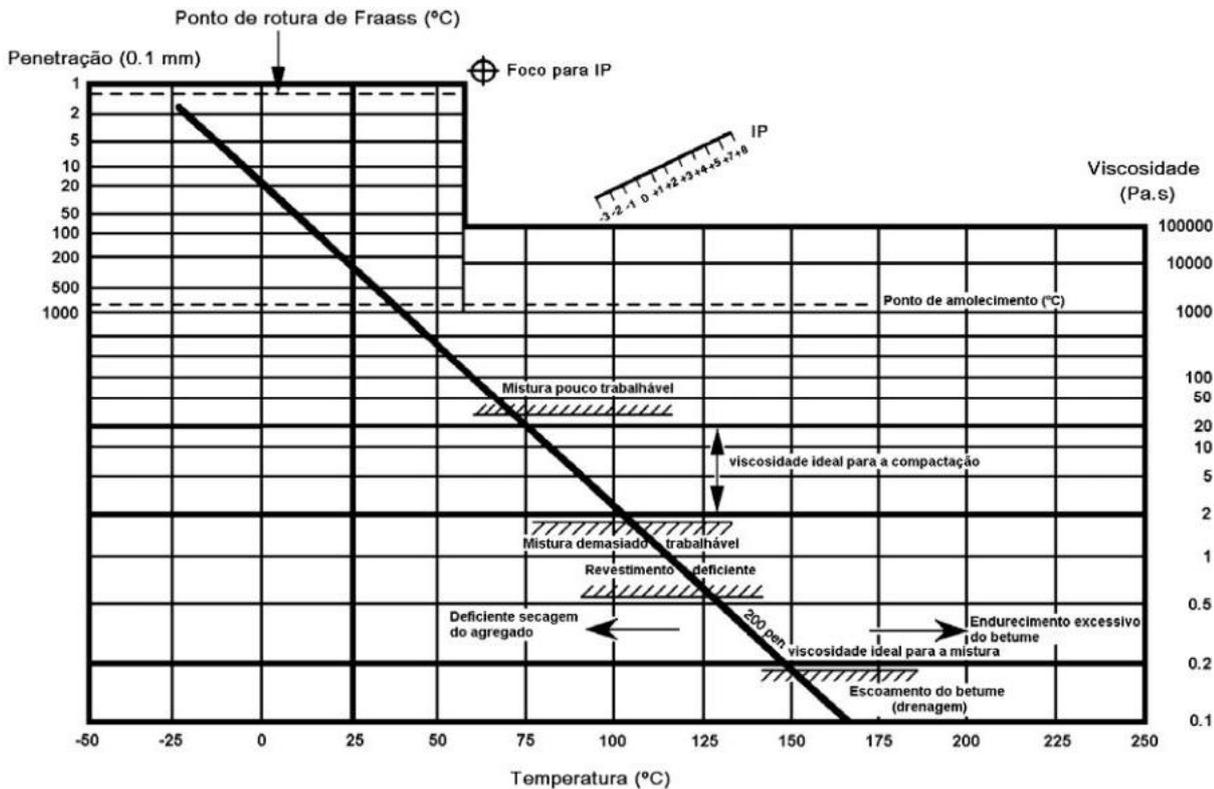


Figura 2.7 - Diagrama BTDC (Silva, 2005)

Analisando este diagrama (Figura 2.7) é ainda possível verificar que a viscosidade ideal para a mistura do betume com agregados se situa nos 0,2 Pa.s, o que corresponde a um intervalo de temperaturas aproximadas entre os 145 e 180 °C. Num intervalo de viscosidade entre 2 e 20 Pa.s, obteríamos a viscosidade ideal para a compactação da mistura betuminosa, após o seu espalhamento (Branco, et al., 2008).

Outra forma de avaliar a susceptibilidade térmica de um betume baseia-se na determinação do índice de penetração (I_p). Desenvolvida por Pfeiffer e Van Doormaal, está definida pela expressão (2.3) na norma NP EN 12591 (IPQ, 2006).

$$I_p = \frac{20 \times T_{AB} + 500 \times \log(\text{pen}25) - 1952}{T_{AB} - 50 \times \log(\text{pen}25) + 120} \quad (2.3)$$

onde,

I_p é o índice de penetração arredondado à décima da unidade mais próxima

T_{AB} é a temperatura de amolecimento, em °C

pen25 é a penetração a 25 °C, em dmm

A mesma norma (NP EN 12591) refere ainda que um índice de penetração igual a zero é atribuído a um betume com pen25 de 200 dmm e com uma T_{AB} de 40 °C (IPQ, 2006).

Uma determinação aproximada do I_p pode ser igualmente feita através do diagrama BTDC. Para tal, traça-se uma recta paralela à determinada anteriormente com os valores da pen_{25} e T_{AB} , com origem no ponto identificado como “Foco para IP” e que irá passar pela escala apresentada numa gama de valores entre -3 e +8. O valor a adoptar para I_p será o fornecido pela intersecção dessa recta com a escala referida.

Índices de penetração baixos (negativos) implicam rectas com maior inclinação, o que é indicador dum betume com uma grande susceptibilidade térmica.

Emulsões Betuminosas

Também é comum nos trabalhos de pavimentação, a utilização de emulsões betuminosas principalmente quando se aplicam misturas betuminosas a frio, regas betuminosas ou revestimentos superficiais. Por este facto, será realizada nos parágrafos seguintes uma descrição deste material aglutinante, com especial atenção para as regas betuminosas.

Uma emulsão betuminosa é constituída por um sistema de duas fases composto por dois líquidos imiscíveis, betume e água, que se mantém estável devido à adição de um emulsionante (Figura 2.8) que se distribui à volta dos glóbulos de betume e estabelece uma carga electrostática que garante a permanência destes em suspensão (Branco, et al., 2008; SHELL, 2003).

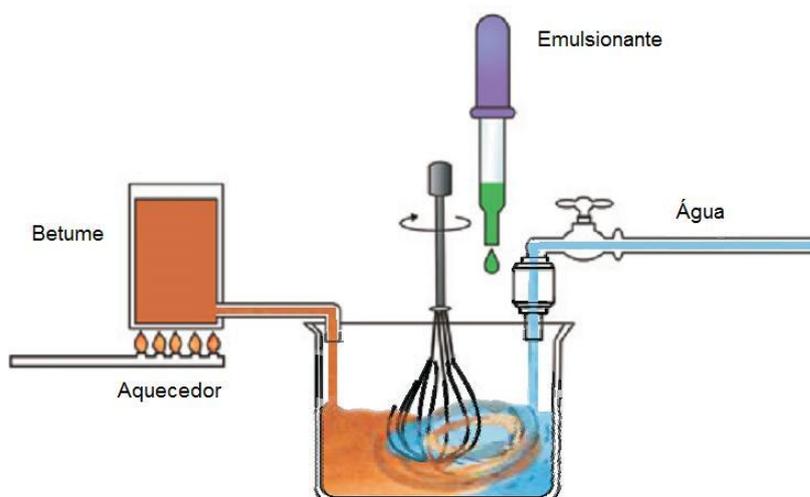


Figura 2.8 - Constituintes de uma emulsão betuminosa (adaptado de Bernucci, et al., 2006)

As emulsões aniónicas e catiónicas são as mais utilizadas para fins rodoviários. A origem do seu nome está ligada à carga eléctrica que possuem derivada da natureza electrolítica do emulsionante (Batista, 2004), ou seja, se se passar uma corrente eléctrica através duma emulsão betuminosa composta por um emulsionante que contém partículas de carga negativa, estas partículas migrarão para o eléctrodo positivo (ânodo) e assim a emulsão será designada como “aniónica”. O inverso verifica-se para a designação “catiónica” (SHELL, 2003).

Batista (2004) refere que as emulsões betuminosas são classificadas de acordo com a sua natureza (aniónicas ou catiónicas), estabilidade (velocidade de rotura), viscosidade e dureza do betume base. A velocidade de rotura poderá ser rápida, média ou lenta.

Em Portugal adoptou-se uma simbologia para identificar a natureza e rapidez de rotura de uma emulsão, assim, E define emulsão, A ou C referem-se à natureza aniónica ou catiónica e R, M e L indicam a velocidade de rotura da emulsão, seja ela rápida, média ou lenta, respectivamente (Branco, et al., 2008).

Branco et al. (2008) referem que a escolha de uma emulsão catiónica ou aniónica está relacionada com a natureza do agregado com que irá ter contacto e também com as condições climáticas no momento da aplicação.

Correntemente, e devido às suas características, as emulsões catiónicas são as mais utilizadas muito devido à possibilidade de serem aplicadas com qualquer tipo de agregado⁷ e de não estarem limitadas a condições climáticas de tempo seco, sendo necessário apenas que não chova.

Por este facto, no capítulo 14.03 do CETO da EP (EP, 2009c) é apenas feita referência às emulsões catiónicas no que diz respeito às propriedades que estas devem apresentar para serem utilizadas em regas de impregnação e/ou em regas de colagem, entre outras. No Quadro 2.7 apresentam-se esses requisitos, que devem estar de acordo com a norma EN 13808.

Quadro 2.7 - Requisitos das emulsões betuminosas clássicas (EP, 2009c)

Requisitos / Propriedades	Referência normativa	Unid	Regas de impregnação em bases granulares (Rot. lenta)	Regas de colagem e cura de sub-bases e bases tratadas com ligantes (Rot. rápida)	Revestimentos superficiais betuminosos (Rot. rápida)	Misturas a frio em ABGE (Rot. lenta)	Misturas abertas a frio (Rot. média)	
			C 40 B 4 (ECL)	C 57 B 3 (ECR-1)	C 66 B 3 (ECR-3)	C 57 B 6 (ECL - 1h)	C 57 B 4 (ECM - 2)	
Resíduo de peneiração	EN 1429	%	Classe 2 ($\leq 0,1$)					
Viscosidade 2 mm / 40°	EN 12846	s	Classe 3 (15s - 45s)	Classe 4 (35s - 80s)	(a)	Classe 3 (15s - 45s)	Classe 4 (35s - 80s)	
Índice de rotura	EN 13075-1	-	Classe 4	Classe 3		Classe 6	Classe 4	
Tempo de miscibilidade	EN 13075-2	s	(b) (c)	(b)	(b)	Classe 3	(b)	
Rotura com cimento	EN 12848	g	Classe 3					
(a) - A viscosidade não se enquadra na classe de requisitos da EN 13808. (b) - A rotura da emulsão ocorre a um tempo inferior ao da adição da totalidade de filler (75s) (c) - O tempo de miscibilidade não se enquadra em nenhuma das classes de requisitos da EN 13808.								

Este quadro apresenta uma nova designação para as emulsões catiónicas e que segundo o CETO da EP, no artigo 4.5 do capítulo 14.03 (EP, 2009c), refere-se à carga das partículas de betume, ao teor nominal de betume residual, ao tipo de ligante e ao valor de rotura. Isto é, uma emulsão designada por “C 57 B 3” refere-se a uma emulsão catiónica (C), composta por um teor nominal de betume (B) residual de 57 % e com uma classe de rotura 3.

A adopção de emulsões com diferentes velocidades de rotura, depende do trabalho a que se destinam, ou seja, para regas de colagem utilizam-se emulsões de rotura rápida e para regas de impregnação são indicadas emulsões com rotura média, devido à necessidade de garantir uma estabilidade mais longa (Branco, et al., 2008).

⁷ As emulsões aniónicas apenas apresentam boa adesividade a agregados calcários.

Uma rega de impregnação é aplicada entre uma camada granular (não ligada) e uma camada composta por materiais ligados (misturas betuminosas) e destina-se a melhorar a adesividade entre estas. A rega de colagem tem também o objectivo de melhorar a adesividade entre camadas, no entanto destina-se a ser aplicada entre camadas ligadas com ligantes betuminosos.

Como se pode verificar pela Figura 2.9, uma boa adesividade entre camadas é de extrema importância para o correcto funcionamento dos pavimentos rodoviários, isto porque garante o funcionamento das várias camadas como se de uma só se tratasse.

Analisando a Figura 2.9, onde se apresenta a distribuição das tensões, verifica-se que caso não seja garantida uma correcta colagem entre as camadas, irá ocorrer uma concentração de tensões de compressão na face superior da camada e de tensões máximas de tracção na face inferior da camada, o que corresponde a um estado de tensões muito mais gravoso que aquele que se verificaria caso a colagem entre camadas permitisse a distribuição das tensões até ao nível da fundação.

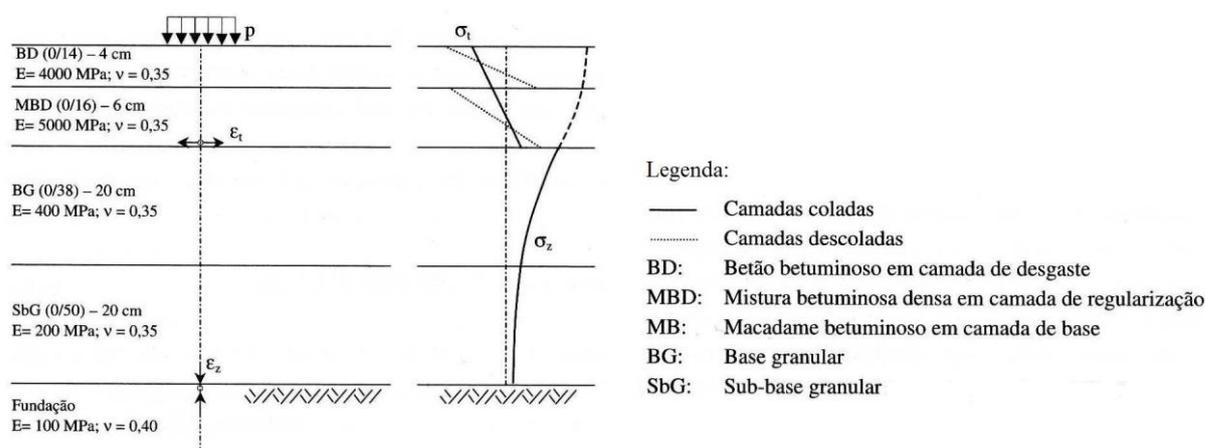


Figura 2.9 - Distribuição das tensões entre camadas (adaptado de Branco, et al., 2008)

Esta situação pode levar à ocorrência de degradações no pavimento que irão por em causa a sua operacionalidade e reduzir a sua vida útil.

2.3.4 Misturas Betuminosas a Quente

Este produto é fabricado a quente, em central, onde são aquecidos e misturados o betume e os agregados de diversas dimensões (agregados grossos, finos e fíler) com a finalidade de constituir uma camada de pavimento. Capitão (1996) refere que as principais características da mistura são definidas pelas proporções e propriedades dos componentes misturados.

Segundo Silva (2005), a adição de diferentes dimensões de agregados permite conferir às misturas betuminosas determinadas características que influenciam o seu comportamento em serviço. Os agregados grossos, melhoram o desempenho da mistura betuminosa às deformações permanentes, aumentam o seu módulo de rigidez e ainda, quando aplicadas em camadas superficiais, asseguram uma rugosidade superficial que garante uma aderência pneu-pavimento satisfatória. Os agregados finos conferem estabilidade e compacidade à mistura, melhorando o arranjo estrutural dos agregados.

O fíler, por sua vez, é responsável pela compacidade e impermeabilidade da mistura betuminosa, dado que, juntamente com o betume, irá constituir o mastic. Interessa ressaltar que diferentes tipos de fíler concedem diferentes características à mistura betuminosa, em que por exemplo, um fíler calcário conduz a uma melhor ligação agregado-mastique em relação a um de origem granítica.

O ligante betuminoso, além de garantir uma limitada resistência à tracção, dará também à mistura uma maior flexibilidade e resistência ao fendilhamento provocado pelas cargas, assim como assegurará a impermeabilidade e durabilidade da camada para enfrentar os agentes climáticos. Finalmente, garante a trabalhabilidade necessária à mistura durante o processo de fabrico e aplicação *in situ*.

Esta mistura, depois de aplicada e compactada, passa a ser também composta por ar, que é representado pelo volume de vazios (V_v) da mesma. A seguir, na Figura 2.10, apresenta-se a composição volumétrica duma mistura betuminosa.

O betume constituinte da mistura irá ocupar uma parte do volume de vazios, sendo que uma percentagem menor deste ligante irá ser absorvida pelo agregado mineral de forma a criar condições de ligações entre os vários materiais. Silva (2005) refere o cuidado a ter na escolha dos agregados, visto que, a utilização daqueles que sejam muito porosos (absorvem mais betume, sendo necessário uma maior adição de ligante, o que aumenta o preço da mistura) ou completamente impermeáveis (reduzem a adesividade entre agregado e betume) pode comprometer o sucesso da camada.

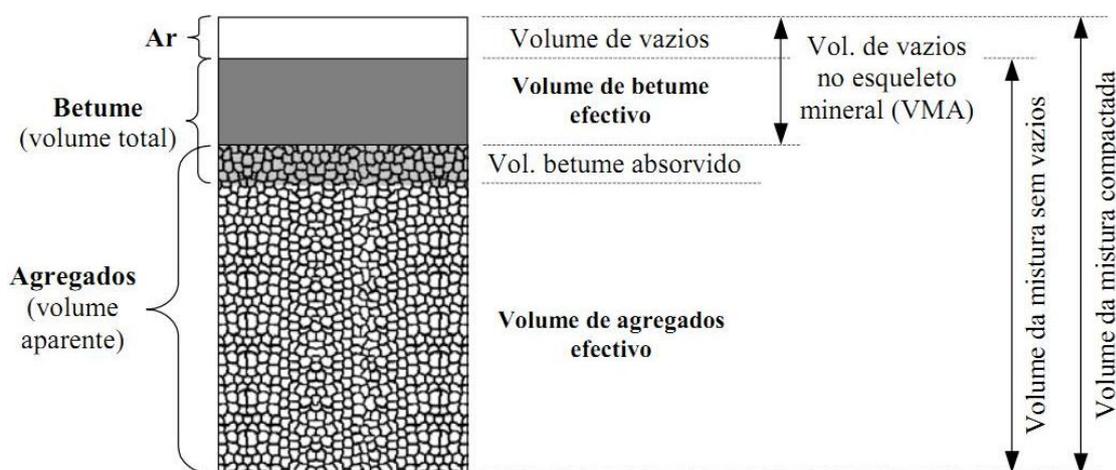


Figura 2.10 - Composição volumétrica duma mistura betuminosa compactada (Silva, 2005)

De acordo com Branco et al. (2008), é possível obter uma indicação da durabilidade e desempenho duma mistura betuminosa, através da obtenção dos valores do volume de vazios e do volume de vazios no esqueleto mineral (VMA).

De facto, quando as misturas betuminosas apresentam um volume de vazios elevado, mostram-se mais permeáveis, susceptíveis à desagregação e com uma menor resistência às deformações permanentes provocadas pela pós-compactação induzida pelo tráfego⁸. Por outro lado, naquelas que apresentam um volume de vazios reduzido (inferior a 3%), poderão surgir problemas de estabilidade relacionados com a ocorrência de exsudação do ligante e deformações permanentes (Silva, 2005).

Sendo uma característica volumétrica, o VMA define-se com sendo igual à soma do volume ocupado pelo betume (V_b) e pelos vazios (V_v), ou de outra forma, pela diferença entre o volume total da mistura (V_t) e o volume ocupado pelos agregados (V_a). Quando expresso em percentagem, o volume obtido terá de ser dividido pelo volume total da mistura compactada. Desta forma, pode ser calculado pela expressão (2.4):

⁸ Excluem-se as misturas porosas e drenantes, onde as consequências de um menor volume de vazios são atenuadas com a utilização de aditivos e técnicas construtivas adequadas.

$$VMA = \frac{V_b + V_v}{V_t} \quad (2.4)$$

Esta propriedade permite aferir o arranjo estrutural dos agregados na mistura betuminosa, indicando se os agregados mais finos ocupam de facto os vazios deixados pelos agregados grossos.

No que ao seu desempenho diz respeito, as misturas betuminosas deverão apresentar determinadas características consoante a função que desempenham ou camada que constituem. No Quadro 2.8 referem-se essas características e as variáveis que as afectam.

Branco et al. (2008) referem que a flexibilidade dum mistura betuminosa melhora com o aumento do teor de betume e com a utilização de uma mistura de agregados de granulometria aberta.

Quadro 2.8 - Variáveis que afectam as propriedades das misturas betuminosas (Silva, 2005)

Propriedades	Definição	Variáveis que afectam as propriedades das misturas betuminosas
Flexibilidade	Aptidão da mistura em se adaptar às deformações das camadas subjacentes	- Granulometria - Teor em betume - Rigidez do betume
Estabilidade	Resistência às deformações plásticas (usualmente a altas temperaturas e longos tempos de carga) – condições para baixos E_{mist}	- Textura da superfície do agregado - Granulometria - Teor em betume
Durabilidade	Resistência às acções climáticas (ar e água) e à acção abrasiva do tráfego	- Granulometria - Teor em betume - Grau de compactação - Sensibilidade à água
Resistência à fadiga	Aptidão da mistura em resistir a esforços de flexão repetidos sem fendilhar	- Granulometria - Teor em betume - Rigidez do betume - Grau de compactação
Resistência à derrapagem	Aptidão da mistura para proporcionar um adequado coeficiente de atrito entre o pneu e o pavimento molhado	- Tipo e textura do agregado - Resistência do agregado ao polimento - Granulometria
Impermeabilidade	Aptidão da mistura em impedir o acesso da água às camadas inferiores	- Granulometria - Teor em betume - Grau de compactação
Trabalhabilidade	Facilidade para realizar as operações de fabrico, colocação e compactação	- Granulometria - Teor em betume - Tipo de betume e de agregado

Através da análise do Quadro 2.8, Silva (2005) refere que um elevado teor em betume aumenta a durabilidade, a impermeabilidade, a resistência ao fendilhamento e a trabalhabilidade da mistura betuminosa, no entanto, afecta negativamente a resistência às deformações permanentes e a aderência pneu-pavimento.

Quanto à granulometria, afecta todas as características da mistura betuminosa sendo por isso necessário encontrar uma mistura de agregados adequada e que permita obter o melhor comportamento da mistura betuminosa (Silva, 2005).

As misturas betuminosas podem ser definidas, quanto à sua composição granulometria, em três classes diferentes (Bernucci, et al., 2006):

- Contínua (ou extensa) - apresenta uma curva granulométrica bem distribuída pelas várias dimensões de agregados, fazendo com que os mais finos ocupem os espaços entre os mais grossos, reduzindo-se desta forma os vazios da mistura.
- Descontínua (ou rugosa) - preponderância de agregados de maiores dimensões, relativamente a granulometrias intermédias, completados por uma dada quantidade de finos, com o objectivo de melhorar o comportamento da mistura às deformações permanentes através de um maior número de contactos entre os agregados de maiores dimensões. Na terminologia inglesa, são designadas por *gap-graded*.
- Aberta – apresenta uma curva granulométrica com agregados quase exclusivamente de uma dimensão, proporcionando a formação de um elevado volume de vazios que permitam a passagem da água e do ar com o objectivo de melhorar a drenagem e reduzir o ruído provocado pela circulação do tráfego. Na terminologia inglesa, são designadas por *open-graded*.

O CETO da EP, no seu capítulo 14.03 (EP, 2009c), refere a utilização de misturas betuminosas compostas por betão betuminoso drenante (granulometria aberta) e de misturas betuminosas com betume modificado com borracha e, embora não sejam estudadas no âmbito desta dissertação, faz-se a seguir uma breve descrição das suas principais propriedades. Estes tipos de soluções são apenas utilizados em camadas de desgaste devido às características e funções que estas misturas desempenham.

Os requisitos para as misturas betuminosas compostas por betão betuminoso drenante, encontram-se especificados na EN 13108-7, sendo que este tipo de mistura destina-se a melhorar as condições de drenagem da água na superfície do pavimento e a reduzir a emissão de ruídos provocados pelo rolamento dos pneus dos veículos. No entanto, esta solução apresenta alguns problemas com o acumular do tempo de serviço, destacando-se a possibilidade de colmatação dos vazios por areias que tendem a anular as características especiais desta solução, bem como a possibilidade de desagregação da camada devido à menor qualidade de ligação dos seus elementos.

As misturas betuminosas com betume modificado com borracha podem apresentar uma granulometria aberta ou descontínua e podem incorporar diferentes percentagens de borracha, dentro de duas gamas de valores admissíveis (8-15% e 18-22%). As vantagens da sua utilização prendem-se com um melhoramento da resistência da camada à fadiga (comparativamente com as outras compostas por misturas convencionais), diminuição do ruído de circulação e da distância de travagem (RECIPAV, 2005). É também uma solução para a reutilização de resíduos não rodoviários como a borracha de pneu, atenuando problemas ambientais associados ao depósito destes.

Estas misturas com incorporação de borracha, não se enquadram em nenhuma norma europeia da série EN 13108, no entanto aplicam-se as metodologias de ensaio descritas na EN 12697 (EP, 2009c).

Com a entrada em vigor da EN 13108-1, as misturas betuminosas passaram a ter uma nova designação. A explicação desta alteração será desenvolvida no subcapítulo 3.3.2 desta dissertação.

2.4 Formulação e Produção de Misturas Betuminosas a Quente

2.4.1 Misturas Betuminosas a Quente

O processo de formulação tem por objectivo determinar as características e composição duma mistura betuminosa, nomeadamente no que diz respeito à sua composição granulométrica, tipo de agregados e o tipo e quantidade de ligante, com a finalidade de que esta venha a cumprir determinadas exigências.

De acordo com vários autores (Baptista (2006), Branco et al. (2008) e Silva (2005)), os métodos de formulação de misturas betuminosas a quente, podem ser separados nas seguintes categorias:

a) Métodos tipo “receita”

Estes métodos são definidos por especificações, isto é, a composição da mistura e o procedimento a adoptar encontram-se estipulados em documentos normativos que se baseiam na experiência da utilização de determinada mistura, sobre condições de tráfego e temperatura conhecidas, em que esta tenha revelado um comportamento em serviço satisfatório.

Muito embora apresentem uma maior facilidade de aplicação e haja uma vasta experiência na sua utilização, estes métodos estão limitados a determinadas condições de tráfego e de clima e não permitem a introdução de novos materiais ou outras inovações tecnológicas. São principalmente utilizados em Inglaterra.

b) Métodos empíricos

São métodos de formulação orientados para a determinação do teor óptimo de betume a utilizar na mistura, com base em dados volumétricos (baridade, VMA ou porosidade) e em variáveis determinadas em ensaio mecânico, como a estabilidade e deformação da mistura. A escolha do teor óptimo de betume é feita em função do conjunto dos resultados dos ensaios que indicam um melhor comportamento da mistura.

Estes métodos de formulação baseiam-se em ensaios de baixo custo e são já utilizados há vários anos (desde 1950), o que implica que haja um vasto leque de resultados disponíveis que permitem definir um critério de qualidade das misturas betuminosas. Em contrapartida, apresentam algumas desvantagens, como o facto da compactação em laboratório não simular correctamente a compactação em obra e ainda por não serem utilizados ensaios fundamentais baseados no comportamento da mistura em serviço, não se adequando às condições actuais do tráfego, entre outras (Silva, 2005).

Existem vários procedimentos associados a este tipo de formulação como o método Marshall ou o método Hveem, ambos desenvolvidos nos EUA, ou ainda o método de Duriez, utilizado em França.

O mais popular dos métodos empíricos é o método Marshall e pelo facto de ser o mais utilizado no nosso país e no resto do mundo (Silva, 2005), será feita uma descrição mais aprofundada deste procedimento.

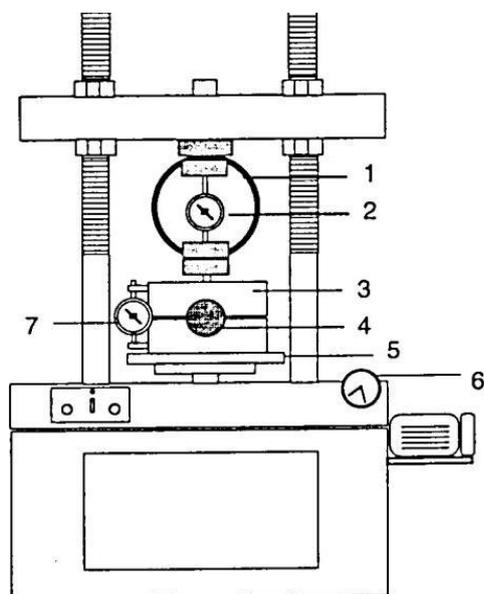
O Ensaio Marshall

Este procedimento, definido pela abordagem empírica da NP EN 13108-1, utiliza um ensaio mecânico (EN 12697-34) de compressão diametral (ou de tracção indirecta) em que é medida a estabilidade (resistência à deformação) dum provete cilíndrico⁹, sujeito a uma deformação constante.

Para a sua realização, é necessário que se produzam 3 provetes para cada teor de betume estudado (pelo menos 5 teores diferentes, com intervalos de 0,5%) e para cada curva granulométrica considerada. A compactação dos provetes é realizada com o compactador de impacto, sobre cada lado dos provetes, e com um número de pancadas dependente da classe de tráfego a que se destina a mistura (Silva, 2005).

⁹ Provetes com 101,6 mm de diâmetro e 63,5 mm de altura;

Depois de determinadas as características volumétricas dos provetes (VMA, V_v , baridade máxima teórica e baridade aparente), realiza-se o ensaio com recurso a uma prensa (Figura 2.11), que aplica a força sobre o provete colocado entre duas meias-canãs de aço, designadas por “estabilómetro Marshall”. Através da aproximação de dois pratos, a uma velocidade de 50,8 mm/min, o provete é comprimido até à rotura. A deformação e a força que dão origem à rotura do provete, denominadas por “deformação Marshall” e “estabilidade Marshall” respectivamente, são medidas nos deflectómetros instalados para o efeito.



Legenda:

- 1- Anel dinamométrico
- 2- Deflectómetro para medição da força aplicada
- 3- Estabilómetro Marshall
- 4- Provete
- 5- Prato da prensa
- 6- Selector da velocidade de aproximação dos pratos
- 7- Deflectómetro para medição da deformação

Figura 2.11 - Esquema do equipamento utilizado no ensaio Marshall (Capitão, 1996)

O quociente entre a estabilidade Marshall¹⁰ e a deformação Marshall¹¹ designa-se por “rigidez Marshall” e permite avaliar laboratorialmente as misturas betuminosas à deformação permanente. É expectável que quanto maior for esse coeficiente, melhor será o comportamento da mistura às deformações permanentes (Gardete, 2006).

As características avaliadas neste método são apresentadas na Figura 2.12, e são elas a força de rotura (estabilidade Marshall), a deformação, a baridade, o VMA, a porosidade e o grau de saturação em betume.

Os valores de cada uma destas propriedades são obtidos através das médias dos resultados dos três provetes, com o mesmo teor de ligante. A percentagem óptima de betume resulta da média das percentagens de betume a que corresponde a máxima baridade aparente, o valor médio dos limites de porosidade para a mistura em causa e a máxima estabilidade Marshall, sem comprometer os valores especificados para os restantes parâmetros avaliados na formulação (IPQ, 2011).

Baptista (2006), bem com outros autores (Capitão, 1996; Silva, 2005), acrescenta que este ensaio não é adequado para formular misturas em que a dimensão máxima dos agregados supere os 25,4 mm, nem para aquelas que se apresentem com uma granulometria descontínua ou muito porosa.

A EN 13108-1 (IPQ, 2011) refere que as misturas “AC 32 base (MB)” e “AC 10 surf (BBr)” não devem ser avaliadas com este tipo de ensaio, devendo-se recorrer aos ensaios de tipo inicial tendo em

¹⁰ Força máxima a que um provete resiste, estando a uma temperatura de 60 °C (Capitão, 1996);

¹¹ Encurtamento do provete desde o início do ensaio até à rotura (Capitão, 1996).

consideração a granulometria e percentagem mínima de betume estabelecidas para estas misturas, na mesma norma.

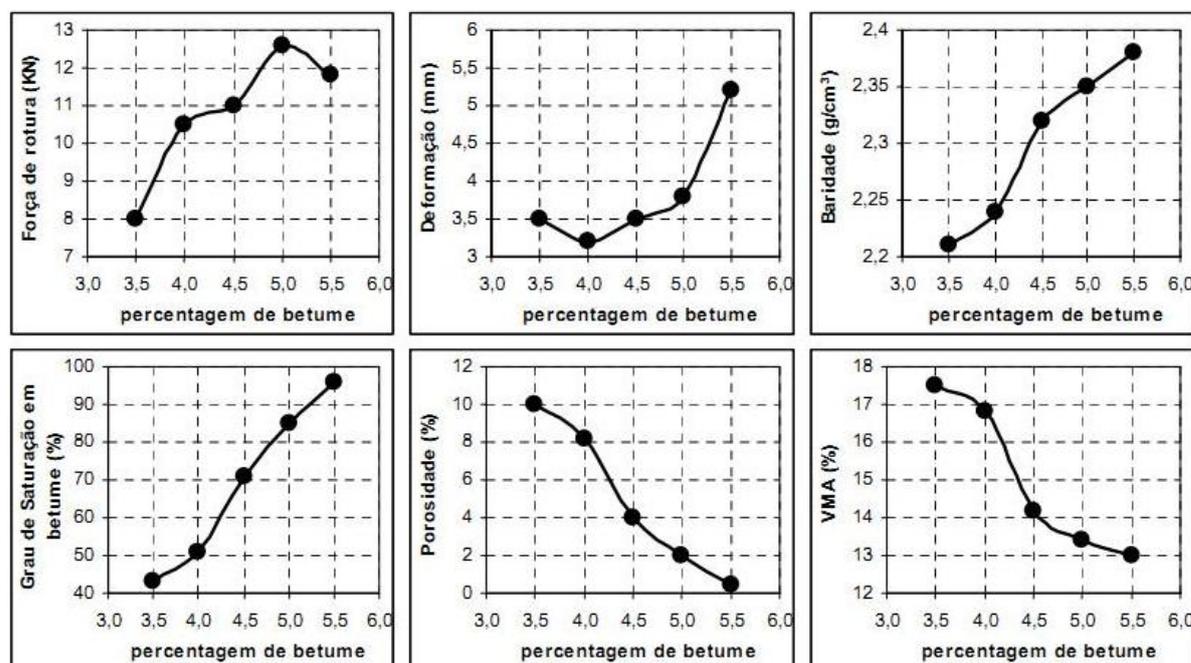


Figura 2.12 - Gráficos com os resultados das variáveis do ensaio Marshall (Silva, 2005)

c) Métodos analíticos

Estes métodos recorrem à utilização de fórmulas matemáticas, bastante ajustadas à realidade, para que se encontre a composição volumétrica da mistura, fornecendo dados como a proporção de cada dimensão de agregados, o teor em betume e o volume de vazios. A realização de ensaios é opcional, sendo no entanto recomendada, dado que permite confirmar a formulação analítica (Silva, 2005).

Este método foi desenvolvido em 1987 pelo *Centre de Recherches Routières*, na Bélgica, onde desde então se verifica a sua utilização. Num primeiro procedimento, era recomendada a execução de um único ensaio empírico para verificar a composição de base. Actualmente, além dos ensaios empíricos, recorre-se também a ensaios mecânicos relacionados com o desempenho em serviço que permitem determinar as qualidades desejadas nas misturas ensaiadas (Branco, et al., 2008).

Esta opção de formulação reduz os estudos preliminares que conduzem às composições de estudo da mistura, permitindo também identificar facilmente a causa duma formulação inadequada. Por outro lado, requer a validação através de ensaios para que se garanta um bom comportamento das misturas betuminosas (Silva, 2005).

d) Métodos volumétricos

Os métodos volumétricos recorrem à utilização das proporções volumétricas do betume, agregados e vazios, para obter a percentagem de betume e a curva granulométrica que irá compor as misturas betuminosas. Para tal, realiza-se um ensaio com um equipamento denominado de “prensa de corte giratória” (Figura 2.13) que procura simular em laboratório as condições de compactação em obra.

Branco et al. (2008) afirmam que as misturas obtidas por esta metodologia representam bem as que irão ser colocadas em serviço e que além deste ensaio não está prevista a realização de mais nenhum. No entanto, Silva (2005) refere que este método de formulação deve apenas ser utilizado para vias com baixa intensidade de tráfego, sendo que para essas situações o cumprimento das propriedades volumétricas já garante um desempenho mecânico adequado. Baptista (2006) corrobora esta posição,

afirmando que para tráfegos mais intensos, terão que ser realizados ensaios de desempenho para as misturas formuladas por este método, fugindo aos princípios simples que caracterizam este método.



Figura 2.13 - Esquema de funcionamento da prensa de corte giratória (Baptista, 2006)

O nível I do *Superpave Mix Design System*, desenvolvido no âmbito do programa SHRP, é um exemplo dum método volumétrico utilizado correntemente nos EUA, para misturas betuminosas a quente (Baptista, 2006).

As principais vantagens destes métodos são a facilidade e baixo custo de execução aliadas à fiabilidade que a mistura obtida transmite, aquando da sua transposição para uma situação real. No entanto, a escassez de ensaios durante a formulação leva a que não sejam medidas certas propriedades das misturas e que por isso seja inadequado para vias com uma elevada solicitação de tráfego. Assim, este método por si só, não garante um bom comportamento das misturas betuminosas (Silva, 2005).

e) Métodos racionais

Estas soluções estão ligadas aos métodos mais recentes de formulação, com origem nos métodos volumétricos já descritos, dado que o fabrico de provetes recorre a relações volumétricas ou de massa. Os ensaios utilizados pretendem determinar as características das misturas betuminosas em serviço, através do seu módulo de rigidez, resistência à fadiga e à deformação permanente.

Como exemplo destes métodos de formulação tem-se o nível II e III do *Superpave Mix Design System* (Harrigan, et al., 1994), apresentado em sequência do programa SHRP desenvolvido nos EUA, e ainda os métodos australiano e francês, entre outros (Silva, 2005).

O nível III do método americano permite ainda realizar uma previsão do comportamento do pavimento em serviço através dos ensaios realizados e de modelos desenvolvidos para esse fim. No entanto, e devido ao seu desenvolvimento recente, ainda não está suficientemente validado e levantam-se dúvidas quanto aos modelos de comportamento utilizados bem como quanto à aplicabilidade de alguns ensaios, mais específicos e complexos que os outros utilizados no nível II do *Superpave Mix Design System* (Branco, et al., 2008).

Os ensaios envolvidos nestes métodos para a determinação das características mencionadas requerem um grande investimento de tempo e dinheiro, o que só se justifica para pavimentos de maior importância, ou seja, sujeitos a grande intensidade de tráfego pesado.

2.4.2 Processo de Fabrico

O processo de produção de misturas betuminosas a quente realiza-se em centrais criadas para o efeito e inicia-se com o aquecimento dos agregados, numa granulometria pré-determinada, que são depois misturados com o ligante, neste caso o betume. Pretende-se obter uma mistura homogênea que respeite

a composição e temperatura especificada, e que cumpra os critérios de conformidade que lhe são atribuídos.

Antes de ser misturada com o ligante, a mistura de agregados é aquecida com o intuito de reduzir o teor de água e elevar as temperaturas do material, de modo a que se promovam as condições ideais para o recobrimento com o betume (SHELL, 2003).

No que diz respeito à sua operacionalidade, as centrais podem ser fixas, semi-móveis ou móveis. As primeiras são aquelas que estão sempre no mesmo local, onde a procura de material o justifique e de modo a que possa fornecer várias obras. As semi-móveis são constituídas por diversas unidades que requerem um transporte pesado (comboio ou camião) para que possam ser de novo montadas e utilizadas noutra obra. Finalmente, as centrais móveis são unidades mais compactas e por isso auto-transportáveis, sendo a fácil mobilidade que possuem a sua grande vantagem.

A produção de misturas betuminosas pode ser feita com recurso a dois tipos de centrais: as contínuas (Figura 2.14) ou as descontínuas (Figura 2.15). Enquanto no primeiro tipo de central a produção de mistura é constante, nas centrais descontínuas o aquecimento de agregados é feito por “fornadas”, ou seja, pode ser independente e realizado a um ritmo diferente (consoante a necessidade de agregado) do da produção da mistura betuminosa, o que não acontece com as centrais contínuas.

Embora tenham um funcionamento distinto, estes dois modelos de central têm em comum diversos elementos que as compõem e que a seguir se apresentam:

- Unidade de alimentação de agregados frios;
- Silos de fíler e depósitos de betume;
- Sistema de despoeiramento (colector de pó);
- Tambor secador;
- Silos de armazenamento da mistura betuminosa.

Uma peça fundamental numa central, seja ela contínua ou descontínua, é o tambor secador dado que é nesta unidade que se processa a secagem dos agregados.

No caso das centrais descontínuas, a sua função é apenas a de aquecer e secar os agregados para serem misturados com o betume e fíler numa unidade distinta (unidade de mistura), ao passo que nas centrais contínuas o tambor secador é também o local onde é adicionado o betume e o fíler à mistura de agregados, sendo-lhe atribuído o nome de tambor secador misturador (TSM), o que leva a que este elemento apresente características distintas para os dois tipos de central. O TSM numa central contínua tem as seguintes características (SHELL, 2003):

- O tambor é mais comprido e composto por duas zonas, uma para aquecimento dos agregados e outra para adição do betume e do fíler.
- O queimador está na parte mais alta do tambor secador, onde se dá a entrada do agregado;
- As pás no interior do TSM têm uma configuração mais complexa;

Durante o aquecimento dos agregados no TSM, o vapor de água formado e o ar quente produzido saem pelo sistema de exaustão, localizado no extremo oposto do TSM, transportando consigo poeiras que são retidas no sistema de despoeiramento, evitando-se a poluição do ar atmosférico. As poeiras (fíler) retidas neste processo podem ser reintroduzidas na mistura ou, caso não sejam reutilizáveis,

armazenadas em silos (EAPA, 2007). Esta reutilização também é possível em centrais descontínuas, já que o sistema de exaustão é idêntico.

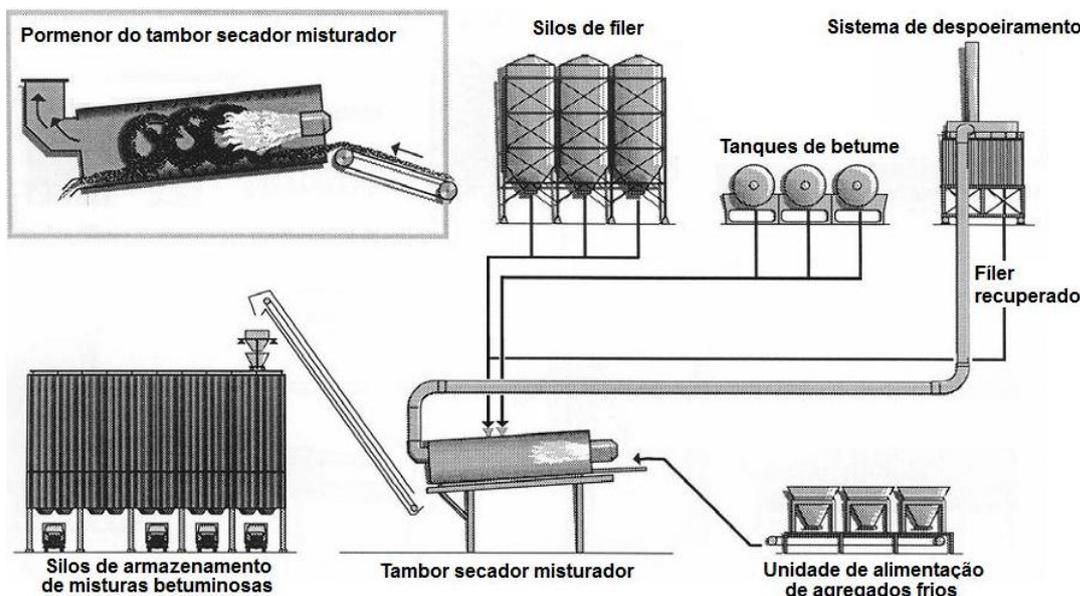


Figura 2.14 - Esquema de funcionamento de uma central contínua (adaptado de EAPA, 2007)

Depois de misturados no TSM os agregados, betume e fíler, a nova mistura betuminosa segue para silos de armazenamento (onde é mantida quente) ou directamente para um camião, de modo a ser transportada e aplicada na frente de trabalho.

No caso da central descontínua (Figura 2.15), e depois de aquecidos, os agregados são transportados para o topo da unidade de mistura e separados por granulometria, sendo posteriormente descarregados (por peso, segundo a formulação granulométrica) na misturadora onde é depois adicionado o betume e o fíler. Tal como nas centrais contínuas, depois de produzida a mistura, esta pode ser descarregada directamente em camiões ou armazenada em silos. Quando descarregado do misturador, e de acordo com a EN 13108-1 (IPQ, 2011), o agregado deve apresentar-se distribuído de forma homogénea e completamente revestido pelo ligante.

Depois de receber o carregamento com a mistura betuminosa, os camiões basculantes são pesados à saída da central, devendo estar equipados com uma lona que cubra a mistura betuminosa para que se previna a diminuição acelerada da temperatura da mistura em contacto com o ar ou a adição indesejada de água com origem na humidade ambiente. Factores climáticos como a temperatura do ar ou a intensidade do vento são decisivos neste processo.

Existem outras configurações de central possíveis, não só com modificações no funcionamento do tambor secador ou na unidade de mistura (para centrais descontínuas), mas também com a introdução de outros elementos que possibilitem a adição de material reciclado à mistura em fabrico.

As centrais descontínuas são as mais utilizadas não só Portugal mas também no resto da Europa (EAPA, 2007), muito devido ao facto de existir um controlo mais rigoroso do processo de mistura, o que garante melhores resultados à mesma, nomeadamente quando as britas e areias têm finos em excesso. Outra vantagem atribuída às centrais descontínuas em relação às contínuas, é a facilidade em poder alterar entre diferentes tipos de misturas. Em contrapartida, e devido à sua menor dimensão, as centrais contínuas ocupam menos espaço, são facilmente deslocáveis, têm um menor consumo energético e maior produtividade.

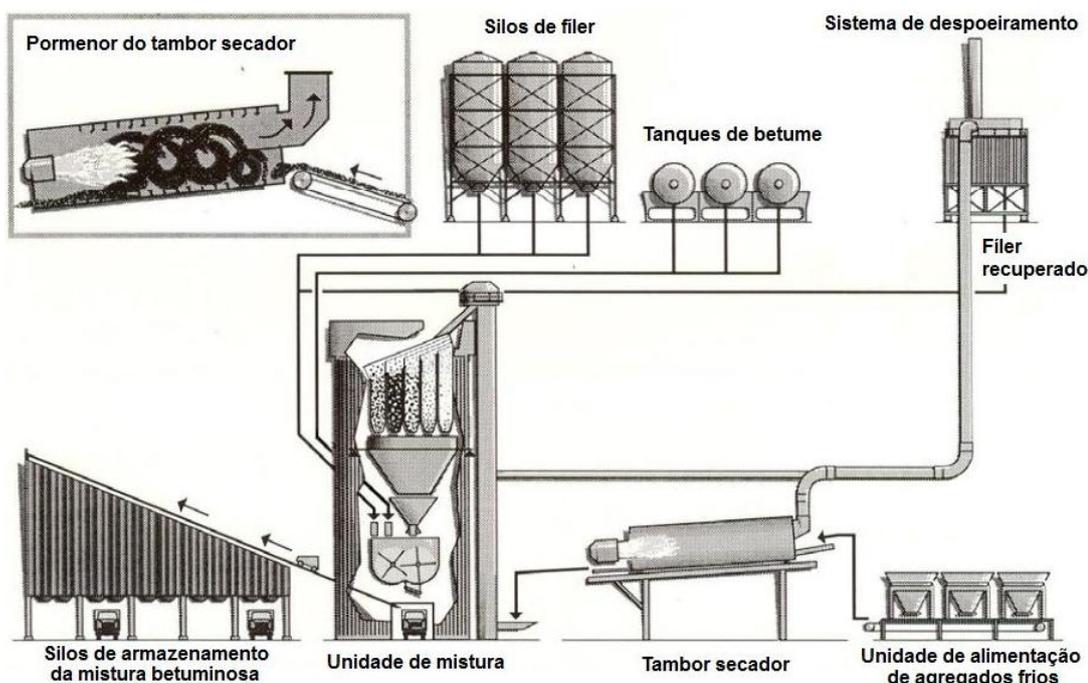


Figura 2.15 - Esquema de funcionamento de uma central descontínua (adaptado de EAPA, 2007)

2.4.3 Aplicação em Obra

Antes de ser executada a aplicação de uma mistura betuminosa em toda a extensão da obra, é realizado um trecho experimental com o objectivo de avaliar os procedimentos de aplicação e compactação da camada betuminosa, onde factores como a temperatura da mistura, a ordem de passagem do trem de compactação e o número de passagem de cada compactador, influenciam as condições finais da camada (Branco, et al., 2008). Permite também, depois de construído o trecho experimental, não só verificar a porosidade e a eficiência da compactação através da determinação da baridade dos carotes extraídos do trecho, como ainda avaliar a regularidade do acabamento da superfície (EP, 2009d). Depois de aprovado pela Fiscalização, o procedimento utilizado no trecho experimental é transposto para a obra.

Antes da aplicação da mistura betuminosa, são verificadas as condições superficiais da camada subjacente, devendo estar garantida a sua boa regularidade e a inexistência de material solto. Posteriormente, é aplicada uma rega de impregnação ou de colagem (consoante a camada subjacente seja não ligada ou ligada, respectivamente) com o objectivo de garantir a melhor aderência da camada a aplicar com a camada já aplicada. A boa ligação entre camadas é fundamental para o melhor funcionamento da estrutura do pavimento, pelas razões já apresentadas no subcapítulo 2.3.3, na rubrica relativa às emulsões betuminosas.

Após a rotura da emulsão, inicia-se o processo de aplicação da nova camada de mistura betuminosa. Quando chega à frente de trabalho, o camião basculante encosta a sua parte traseira à dianteira da pavimentadora e descarrega o material na tremonha desta (Figura 2.16). Como a pavimentadora não tem capacidade para receber de imediato todo o carregamento do camião, trabalha alguns metros com o camião acoplado à sua dianteira.



Figura 2.16 - Colocação da mistura betuminosa na pavimentadora

A pavimentadora está equipada com uma cinta (2) que transporta a mistura da tremonha (1) até à parte traseira onde se encontram uns sem-fins transversais (3) responsáveis pela distribuição da mistura em toda a largura de pavimentação. Finalmente, sofre um calcamento e ao passar sob a mesa vibradora (4), a mistura é alvo de uma pré-compactação realizada por este elemento, que deixa a superfície da camada regularizada, com a inclinação desejada e preparada para a compactação final para obter a espessura pretendida. Na Figura 2.17 apresenta-se o processo descrito.

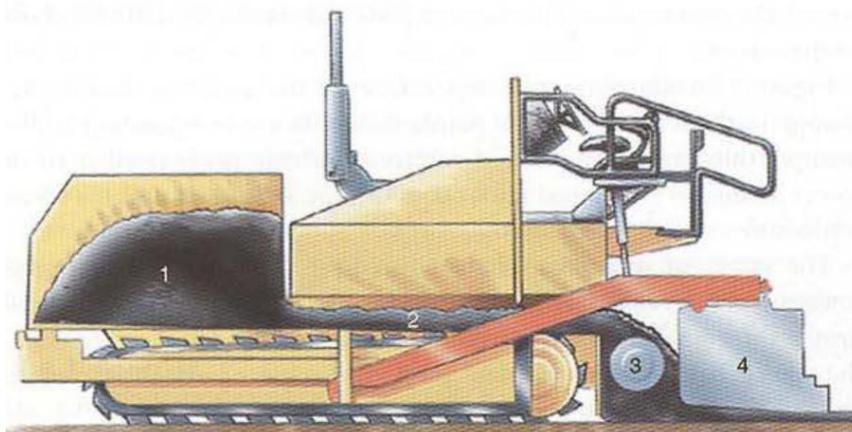


Figura 2.17 - Esquema de funcionamento de uma pavimentadora (SHELL, 2003)

De acordo com Branco et al. (2008), a velocidade de espalhamento deve estar adaptada à capacidade de produção da central de betuminoso, assim como à largura e espessura da camada a ser aplicada, para que se garanta um ritmo constante de trabalho e se alcance uma regularidade superficial satisfatória.

O processo de compactação tem como finalidade a obtenção da densidade determinada nas especificações (Caderno de Encargos), para a mistura betuminosa a ser executada. A ordem de passagem dos compactadores será a determinada aquando da realização do trecho experimental, sendo normalmente utilizados dois tipos (Figura 2.18): cilindro de rolos e o cilindro de pneus.



Figura 2.18 - Cilindro de rolos e cilindro de pneus utilizados na compactação (SHELL, 2003)

Usualmente, o processo de compactação inicia-se com o cilindro de pneus, seguindo-se o cilindro de rolos a vibrar e finalmente o cilindro de rolos passa novamente mas em modo estático. Alternativamente, o “comboio de compactação” pode iniciar-se com o cilindro de rolos a vibrar, passando de seguida o cilindro de pneus a aplicar uma pressão elevada, terminando com o cilindro de rolos sem vibrar, de modo a regularizar e eliminar possíveis vincos deixados pelo cilindro de pneus.

Como já se relatou atrás, é fundamental que o processo de compactação se inicie quando o betume se encontra dentro de um dado intervalo de temperatura, e consequentemente de viscosidade dinâmica (entre 2 Pa.s e 20 Pa.s), que garanta a sua trabalhabilidade. Branco et al. (2008) recomendam temperaturas da mistura entre os 120 °C e os 140 °C, ressalvando que tudo depende das características do trem de compactação, do tipo de betume e do agregado utilizado (granulometria, superfície, entre outros)

Segundo SHELL (2003), o arrefecimento da mistura betuminosa está dependente de vários factores como a espessura da camada, temperatura ambiente, temperatura da camada subjacente e das condições climáticas, onde o vento tem uma grande influência no arrefecimento da mistura betuminosa.

Terminado todo o processo de execução da camada, são verificadas as características da mesma, especificadas no Caderno de Encargos da obra, com o objectivo de garantir que a camada aplicada apresenta condições satisfatórias para aplicação da camada seguinte ou, caso se trate da camada de desgaste, que garanta segurança e comodidade na circulação do tráfego.

A obtenção de uma compactação dentro dos limites especificados é fundamental para o bom desempenho da estrutura construída, visto que esta característica influencia alguns parâmetros do pavimento, tais como (Franklin, 1997):

- Estabilidade, pelo facto de a densidade da mistura afectar o ângulo de atrito e as tensões a que as partículas da mistura ficam sujeitas;
- Durabilidade, ao controlar-se a porosidade da mistura e os valores limite admissíveis, consegue-se minimizar a entrada de ar e/ou água que iriam acelerar o processo de envelhecimento da mistura, caso se verificasse uma porosidade excessiva;
- Resistência à fadiga, dado que a obtenção de uma compactação ideal, dentro de certos valores limite, permite aumentar os pontos de contacto entre as várias partículas da mistura e assim distribuir melhor as cargas aplicadas pelos veículos, visto que o aumento de pontos de contacto reduz a tensão em cada um dos pontos.

No entanto, é importante ter em conta que uma compactação excessiva (além dos valores de tolerância especificados) é algo não desejável, visto que pode resultar no aparecimento precoce de anomalias no pavimento, como por exemplo a desagregação do material ou exsudação do ligante, como a seguir se explica.

Dado a sua importância neste trabalho, serão abordados no capítulo 4, de forma mais aprofundada, os critérios em vigor no nosso país, assim como explicadas as técnicas e procedimentos de verificação desses critérios.

2.5 Anomalias Associadas a Pavimentos Flexíveis

O processo de degradação dos pavimentos rodoviários é algo que se inicia mesmo antes de estes entrarem em serviço, bastando para isso que estejam sujeitos aos agentes atmosféricos que induzem solicitações nos pavimentos. Depois de exposto a uma primeira acção, a degradação provocada irá reduzir, embora de forma muito pouco significativa, a capacidade de resposta do pavimento a uma futura acção. A sucessão de acções conduz a um processo contínuo de alterações das propriedades resistentes dos materiais, dando origem a diversas anomalias.

O processo de degradação de um pavimento rodoviário está aliado a dois grupos de factores: os passivos e os activos. Os primeiros referem-se às características do pavimento, nomeadamente às espessuras das camadas, aos materiais utilizados e à qualidade de construção empregue. São no fundo factores que o homem pode controlar e manipular com alguma facilidade. Já os factores activos dizem respeito às acções do tráfego e dos agentes climáticos, os quais são directamente responsáveis pela degradação dos pavimentos.

Segundo Silva (2008), a degradação dos pavimentos flexíveis é um processo complexo, que resulta da evolução natural dos mesmos e por isso difícil de avaliar, muito devido aos vários mecanismos que actuam em conjunto e alteram o desempenho do pavimento.

As anomalias desenvolvem-se numa determinada localização do pavimento e seguem uma ordem de acontecimentos e interacção entre elas. O agravamento das condições do pavimento leva a uma cada vez mais rápida deterioração do mesmo, devido à redução da sua capacidade resistente, que ocorre essencialmente no final do período de vida previsto para o pavimento. (Silva, 2005).

As anomalias que se verificam nos materiais betuminosos estão particularmente relacionadas com o envelhecimento do ligante, principalmente na camada de desgaste, por acção da radiação solar e da variação da temperatura. A radiação solar que incide no pavimento conduz a um aumento da viscosidade e conseqüente aumento da rigidez e fragilidade da camada betuminosa. Já a temperatura provoca comportamentos distintos, consoante o seu valor. No caso de sujeitar o pavimento a altas temperaturas, o ligante torna-se menos viscoso, levando a uma redução da rigidez e aumentando a possibilidade de ocorrerem deformações plásticas. Para temperaturas muito baixas, a resposta do ligante é antagónica e com o aumento da sua rigidez torna a mistura mais susceptível ao fendilhamento (Branco, et al., 2008).

As camadas não ligadas, compostas por materiais granulares, sofrem essencialmente com a acção da água e com a repetição das cargas rodoviárias. A infiltração de água nas camadas provoca uma diminuição do atrito interno das partículas, implicando um novo arranjo destas e uma maior susceptibilidade à ocorrência de deformações (assentamentos) na camada, que se reflectem

posteriormente à superfície. O tráfego provoca uma degradação idêntica, mas devido às cargas aplicadas que conduzem a uma pós-compactação das camadas não ligadas (Branco, et al., 2008).

No Quadro 2.9 apresentam-se as várias famílias e tipos de degradações que ocorrem nos pavimentos flexíveis.

Segundo Silva (2008), desde que bem concebidos, os pavimentos não devem apresentar degradações significativas nos primeiros anos de serviço, garantindo-se assim um bom desempenho estrutural e funcional durante o período de vida do pavimento.

Degradações como a deformação permanente e o fendilhamento estão intimamente ligadas, sendo que quando uma ocorre, leva normalmente à origem da outra. Já a desagregação da camada de desgaste e o movimento de materiais ocorrem na sequência de fendilhamento e da má qualidade dos materiais.

Quadro 2.9 - Famílias e tipos de degradações (Silva, 2005)

FAMÍLIAS DE DEGRADAÇÕES	TIPOS DE DEGRADAÇÕES
Deformações	<ul style="list-style-type: none"> - Abatimento: { <ul style="list-style-type: none"> - Longitudinal: { <ul style="list-style-type: none"> - Berma - Eixo - Transversal - Deformações localizadas - Ondulação - Rodeiras: { <ul style="list-style-type: none"> - Grande raio (devido, principalmente, ao solo de fundação) - Pequeno raio (devido às misturas betuminosas)
Fendilhamento	<ul style="list-style-type: none"> - Fendas: { <ul style="list-style-type: none"> - Fadiga - Longitudinais: { <ul style="list-style-type: none"> - Eixo - Berma - Transversais - Parabólicas - Pele de crocodilo: { <ul style="list-style-type: none"> - Malha fina (≤ 40 cm) - Malha larga (> 40 cm)
Desagregação da Camada de Desgaste	<ul style="list-style-type: none"> - Desagregação superficial - Cabeça de gato - Pelada - Ninhos (covas)
Movimento de Materiais	<ul style="list-style-type: none"> - Exsudação - Subida de finos

2.5.1 Deformações

Na família das deformações, destaca-se como anomalia mais expressiva e comum as rodeiras (Branco, et al., 2008), que se caracterizam como uma formação de sulcos (irregularidade transversal) que se estendem longitudinalmente, no local de passagem dos pneumáticos dos veículos. As causas para a sua ocorrência podem estar associadas a uma compactação deficiente das camadas, à fraca capacidade de suporte da fundação e das camadas granulares, ou à fraca resistência das misturas betuminosas à deformação plástica. No esquema da Figura 2.19 pode ver-se o aspecto desta anomalia quando a

deformação permanente tem origem nas camadas granulares e quando ocorre apenas nas camadas betuminosas, respectivamente.

Como se pode constatar na Figura 2.19, quando o raio de rodeira é grande assume-se que a deformação tem origem nas camadas não ligadas, ao passo que quando a rodeira apresenta um raio pequeno e com elevações laterais de material betuminoso, assume-se que a origem da deformação está na camada composta por mistura betuminosa.

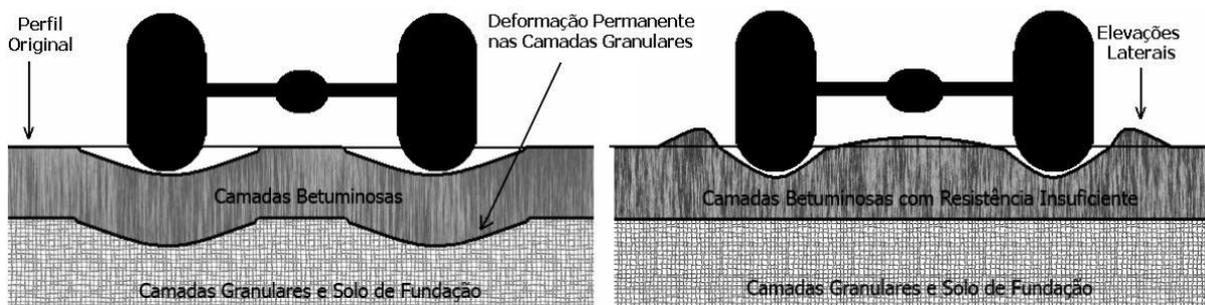


Figura 2.19 - Formação de rodeiras com origem em camadas distintas (Gardete, 2006)

Segundo Gardete (2006), além das características dos materiais, factores como as cargas aplicadas pelo tráfego e a sua velocidade de circulação, assim como a temperatura a que a camada superficial está sujeita, são factores decisivos para a ocorrência deste fenómeno.

2.5.2 Fendilhamento

No caso do fendilhamento, que de acordo com Branco et al. (2008) é a anomalia mais frequente nos pavimentos flexíveis, este apenas ocorre em camadas compostas por misturas betuminosas sendo resultado da fadiga dos materiais. O seu aparecimento é um primeiro indicador da redução da capacidade estrutural do pavimento, podendo manifestar-se através de fendas isoladas, ramificadas ou em forma de malha, às quais se atribui o nome “pele de crocodilo” (Figura 2.20).



Figura 2.20 - Fendilhamento tipo "pele de crocodilo"

A pele de crocodilo é de facto o tipo de degradação mais importante dentro da família do fendilhamento, isto porque resulta do desenvolvimento de outras fendas mais simples que passam a formar uma malha, mais ou menos larga, consoante o estado de degradação, sendo que quanto mais avançado for, mais estreita se torna a malha. As principais causas que levam ao seu aparecimento são a fraca qualidade dos materiais, a agressividade do tráfego e dos agentes climáticos e ainda a reduzida compacidade das camadas estruturais.

Um outro tipo de fendilhamento que se tem manifestado nos últimos anos é aquele com origem na superfície, que ocorre em camadas compostas por uma elevada espessura de mistura betuminosa. Branco et al. (2008) referem que as causas para a sua origem podem se encontrar numa deficiente compactação das camadas ligadas e na cada vez maior agressividade do tráfego pesado.

A entrada de água nas camadas inferiores, através de fendas existentes à superfície do pavimento, reduz a capacidade de suporte das camadas granulares e do solo de fundação, sujeitando as camadas betuminosas a uma maior tensão e acelerando o seu processo de degradação (Branco, et al., 2008).

Como consequência do desenvolvimento do fendilhamento das camadas superficiais, terá lugar a ocorrência da desagregação da camada de desgaste e o movimento de materiais.

2.5.3 Desagregação

A desagregação da camada de desgaste resulta duma falta de estabilidade da ligação entre os materiais que constituem a camada de desgaste, conduzindo a uma perda da sua qualidade superficial. Branco et al. (2008) apontam como principais causas desta anomalia, além da fraca qualidade dos materiais, alguns erros cometidos durante o processo de execução da camada, como a segregação dos inertes, execução da camada com temperatura ambiente muito baixa, entre outras.

A formação de “cabeça de gato” tem origem no desgaste rápido do mastique, que leva à quebra de ligação com o agregado grosso, deixando-o à vista, e originando um aumento da macrotextura do pavimento, consequência da perda de finos. Embora este acontecimento permita uma melhor drenagem do pavimento, a sua inevitável expansão pode conduzir à formação a uma desagregação superficial, resultante do desprendimento dos agregados grossos.

As “peladas” são caracterizadas como um desprendimento de pequenas placas da camada de desgaste em relação à camada subjacente, e podem ocorrer devido ao subdimensionamento da camada de desgaste ou à fraca ligação entre esta camada e a camada betuminosa seguinte (Branco, et al., 2008). Na Figura 2.21 apresenta-se um caso desta anomalia.



Figura 2.21 - Aspecto da "pelada"

O aparecimento de ninhos (ou covas) indica um estado último de ruína do pavimento e são a derradeira consequência das degradações desta família, como se pode ver na Figura 2.22. Este estado final e irreversível do pavimento provoca extremo desconforto aos seus utilizadores e possíveis danos nos seus veículos.



Figura 2.22 - Aspecto de anomalias tipo "ninho"

Os ninhos podem ter origem na evolução natural da pele de crocodilo ou numa desagregação localizada da camada de desgaste, que evolui através da sua espessura.

2.5.4 Movimento de Materiais

O movimento de materiais, também ele uma consequência do fendilhamento, pode ter origem na fundação, nas camadas granulares e nas camadas betuminosas, sendo que se distinguem os tipos de degradação pelo material transportado e local de origem. A subida de finos ocorre quando a água retida no interior das camadas granulares (que ali surge devido à subida do nível freático ou por infiltração numa fenda na camada de desgaste) ascende à superfície devido à compressão exercida pelos veículos sobre o pavimento degradado que com o aumento da compressão, provocam a expulsão da água das camadas inferiores, trazendo consigo o material fino.

No caso das camadas betuminosas, uma deficiente formulação das misturas aliada a rigorosas condições de tráfego e de clima, pode provocar uma exsudação (migração para a superfície) do ligante, que conduz a uma redução do atrito conferido pela camada de desgaste e à diminuição da segurança de circulação. Na Figura 2.23 apresenta-se um caso de exsudação.



Figura 2.23 - Aspecto dum pavimento com exsudação (Pavement Interactive, 2008)

No fundo pretendeu-se mostrar a sequência de acontecimentos entre as várias degradações consideradas para os pavimentos flexíveis, referindo quais os factores que estão na sua génese. Assim, interessa sublinhar a importância de uma correcta formulação das misturas betuminosas e de um controlo permanente na produção e na sua aplicação no pavimento.

3 CADERNOS DE ENCARGOS

3.1 Introdução

Neste capítulo, começa-se por descrever a função e objectivos de um caderno de encargos, seguindo-se uma apresentação do conteúdo dos capítulos relativos aos trabalhos de pavimentação do novo Caderno de Encargos Tipo Obra (CETO) da Estradas de Portugal, S.A. (EP), que estão em análise neste trabalho.

São depois apresentadas as principais alterações efectuadas para a elaboração do novo CETO da EP, publicado em Fevereiro de 2009, comparando-o com o Caderno de Encargos anteriormente em vigor, publicado em 1998 pela Junta Autónoma das Estradas (JAE). Os capítulos em avaliação serão os seguintes:

- Capítulo 14.00 - Controlo de Qualidade (EP, 2009a);
- Capítulo 14.03 - Pavimentação - Características dos Materiais (EP, 2009c);
- Capítulo 15.03 - Pavimentação - Métodos Construtivos (EP, 2009d).

O novo CETO da EP, encontra-se organizado de forma muito semelhante ao anterior, nomeadamente na disposição dos capítulos. Foram agora introduzidas novas especificações, de acordo com o novo acervo normativo nacional que inclui a normalização europeia, para as mais recentes técnicas ou materiais que entretanto começaram a ser aplicados e se tornaram práticas comuns ou do conhecimento prático, assim como novos métodos de ensaio.

3.2 Objectivos e Conteúdo de um Caderno de Encargos

Em termos gerais, um caderno de encargos é um documento legal, publicado pela entidade detentora da obra (definida pelo termo “Dono de Obra”), com o objectivo de guiar uma segunda entidade responsável pela execução dos trabalhos (definido pelo termo “Adjudicatário”), durante o desenrolar da obra. Desta forma, está previsto que este documento possa informar o Adjudicatário sobre as dimensões e complexidade dos trabalhos, permitindo-lhe assim apresentar uma proposta ao Dono de Obra tendo em conta critérios como os custos, prazos e recursos materiais e humanos.

Este documento garante ao Dono de Obra que os trabalhos serão executados conforme o descrito e portanto, conforme o contratado. Ao Adjudicatário, garante que não lhe são impostos outros materiais, técnicas ou condições de execução dos trabalhos além daquelas que foram contratadas inicialmente. No entanto, as condições inicialmente contratadas poderão ser alteradas durante a execução dos trabalhos, mais propriamente antes da execução de uma actividade, desde que exista um acordo entre o Dono de Obra e o Adjudicatário.

O Dono de Obra, normalmente, é representado em obra por uma terceira entidade, independente de si, denominada por “Fiscalização” que tem como função representar e defender os interesses do Dono de Obra na execução dos trabalhos, perante o Adjudicatário, garantindo que as condições apresentadas no caderno de encargos são respeitadas. À Fiscalização é pedido que acompanhe a execução dos trabalhos e que verifique se as condições apresentadas no caderno de encargos são respeitadas, antes, durante e após a execução das actividades.

3.2.1 O Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal

No caso do CETO da EP, e por ser um caderno de encargos comum às várias obras adjudicadas por essa entidade, apresenta-se em cada capítulo as condições necessárias à execução dos trabalhos, sendo depois transposta para cada obra as rubricas necessárias. Assim, cada um dos três capítulos supramencionados, e avaliados neste trabalho, apresenta as seguintes rubricas:

Capítulo 14.00 - Controlo de Qualidade

▪ 14.00.1 - Generalidades

Aqui são apresentadas, em quatro rubricas distintas, (1) as disposições aplicáveis aos produtos de construção, (2) os requisitos exigíveis a todos os materiais, (3) as condições relativas às referências normativas e o (4) controlo de qualidade dos materiais, do produto executado e do processo de execução dos trabalhos. A primeira rubrica citada, inclui ainda as condições e a legislação em vigor que levam à obrigatoriedade de marcação CE, certificação ou homologação dos produtos, bem como os requisitos para a aceitação dos materiais cuja marcação CE seja, ou não, obrigatória.

▪ 14.00.2 - Equipamento laboratorial para a realização de ensaios

Nesta rubrica apresentam-se as condições humanas e materiais que o Adjudicatário deve apresentar para que possa dar resposta à necessidade de comprovar através de ensaios laboratoriais, a qualidade dos trabalhos realizados em obra.

▪ 14.00.3 - Propriedades a avaliar e métodos de ensaio

Este terceiro item indica as propriedades a avaliar e os métodos de ensaio a utilizar para a realização do controlo de qualidade dos seguintes materiais: (1) solos e rochas; (2) agregados naturais e reciclados, e fíleres; (3) ligantes betuminosos; (4) misturas betuminosas; (5) ligantes hidráulicos e misturas tratadas com ligantes hidráulicos; (6) caldas de cimento e betões hidráulicos e finalmente (7) aços.

Para que se torne de fácil compreensão, cada um dos sete conjuntos de materiais mencionados no parágrafo anterior tem um quadro composto por três colunas onde são indicados o código do ensaio, a designação do ensaio e a referência normativa ou especificação que rege a sua realização.

▪ 14.00.4 - Frequência de ensaios

Neste item é apresentada a frequência mínima de realização de cada ensaio de controlo de qualidade, por conta do Adjudicatário, bem como a possibilidade da Fiscalização alterar a frequência estabelecida e os procedimentos a seguir caso se identifique uma não conformidade num produto ensaiado.

Também aqui se recorre à apresentação de quadros, compostos por três colunas e tantas linhas quanto as necessárias, para apresentar os diversos ensaios para cada tipo de material incluído numa dada actividade. As três colunas dos quadros indicam o código do ensaio, o número de ensaios a realizar e o período ou quantidade correspondente ao número de ensaios a realizar. As actividades referidas são os trabalhos de terraplanagem, drenagem, pavimentação, obras acessórias, instalação de equipamentos de sinalização e segurança, em obras de arte integradas e em túneis.

Interessa ainda referir as definições de “lote” atribuídas a produtos como solos, materiais granulares e misturas betuminosas. Nesta rubrica, “lote” define-se como a menor extensão resultante da aplicação dos seguintes critérios: (1) quinhentos metros (500 m) de extensão de faixa; (2) três mil e quinhentos metros quadrados (3500 m²) de extensão de faixa; (3) a extensão construída num dia.

Para ligantes betuminosos, a definição de lote é distinta, sendo que um lote diz respeito à quantidade definida pela refinaria de onde provem esse material.

- 14.00.5 - Provas de carga em obras de arte

Nesta rubrica é referida a possibilidade da EP realizar ensaios de recepção ou provas de resistência em pontes, com recurso a sobrecargas próximas das cargas de dimensionamento, de forma a comprovar o bom comportamento da estrutura.

Capítulo 14.03 – Pavimentação: Características dos materiais

Neste capítulo (EP, 2009c), e como o próprio título indica, estão expostos os requisitos a avaliar com os respectivos valores limite que os materiais devem apresentar para que possam integrar as camadas ou técnicas de pavimentação para os quais são designados. Estes valores são apresentados em quadros, ao lado da propriedade avaliada, da referência normativa que rege o ensaio e da respectiva unidade.

No primeiro subcapítulo (14.03.0 - Materiais constituintes das misturas não ligadas, misturas betuminosas, misturas tratadas com ligantes hidráulicos e betão hidráulico) é feita uma descrição geral dos vários materiais utilizados, como é o caso dos solos, agregados, filler, ligantes betuminosos, entre outros, onde se dão as condições de partida para a integração destes nas soluções construtivas.

Nos seguintes subcapítulos apresentam-se as propriedades que as várias misturas consideradas devem ter para que possam integrar obras de pavimentação da EP. As soluções consideradas são:

- 14.03.1 - Materiais para camadas não ligadas;
- 14.03.2 - Materiais para camadas de misturas betuminosas a quente;
- 14.03.3 - Materiais para camadas de misturas betuminosas a frio;
- 14.03.4 - Materiais para camadas tratamentos superficiais;
- 14.03.5 - Materiais para camadas de misturas tratadas com ligantes hidráulicos;
- 14.03.6 - Materiais para camadas de betão hidráulico;
- 14.03.7 - Trabalhos específicos dos pavimentos rígidos;
- 14.03.8 - Regas betuminosas de impregnação, colagem ou cura;
- 14.03.9 - Trabalhos especiais de pavimentação;
- 14.03.10 - Misturas recicladas.

Capítulo 15.03 – Pavimentação: Métodos construtivos

Neste capítulo (EP, 2009d) são apresentados os processos construtivos que conduzem à correcta aplicação das camadas, bem como os critérios a ter em conta aquando da avaliação da unidade terminada. As soluções aqui consideradas, são as seguintes:

- 15.03.1 - Camadas não ligadas
- 15.03.2 - Camadas de misturas betuminosas a quente
- 15.03.3 - Misturas betuminosas a frio
- 15.03.4 - Tratamentos superficiais
- 15.03.5 - Camadas de misturas tratadas com ligantes hidráulicos

- 15.03.6 - Camadas de betão hidráulico
- 15.03.7 - Trabalhos específicos dos pavimentos rígidos
- 15.03.8 - Regas betuminosas de impregnação, colagem ou cura
- 15.03.9 - Trabalhos especiais de pavimentação
- 15.03.10 - Misturas recicladas

Interessa referir que a definição de lote utilizada para a verificação de conformidade diz respeito à menor extensão resultante da aplicação dos seguintes critérios:

- Quinhentos metros (500 m) de extensão de faixa;
- Três mil e quinhentos metros quadrados (3500 m²) de extensão de faixa;
- A extensão construída num dia.

Refere-se que no desenvolvimento deste trabalho será dada especial atenção às rubricas 15.03.1, 15.03.2 e 15.03.8, por integrarem as soluções construtivas mais utilizadas, não só no nosso país, mas também em todo o mundo.

Apresenta-se no subcapítulo seguinte, as principais alterações apresentadas na edição de 2009 do CETO da EP, em relação à que estava antes em vigor, publicada em 1998.

3.3 Principais Modificações no Caderno de Encargos Tipo Obra da EP

Neste capítulo serão apresentadas as principais alterações realizadas para a elaboração do novo CETO da EP, publicado em Fevereiro de 2009, tendo como base de comparação o anterior CETO em vigor, editado pela JAE em Março de 1998.

3.3.1 Legislação sobre Produtos

No que diz respeito às características dos materiais a verificar no controlo de qualidade segundo o Caderno de Encargos antecedente (JAE, 1998a), estavam em vigor para os produtos nacionais as normas portuguesas, os documentos de homologação de laboratórios oficiais como o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), regulamentos em vigor e especificações daquele Caderno de Encargos. Quando a proveniência dos produtos utilizados tinha origem em países estrangeiros, aplicavam-se as normas e regulamentos em vigor no país de origem do produto, desde que não existissem normas nacionais aplicáveis.

A obrigatoriedade da marcação CE (Figura 3.1) foi uma das medidas introduzidas no novo caderno de encargos, com base na Directiva Comunitária dos Produtos de Construção (DPC), nº 89/106/CEE de 21 de Dezembro, sendo depois transposta para a ordem jurídica nacional através de dois diplomas: o Decreto-Lei nº 113/93, de 10 de Abril e a Portaria nº566/93, de 2 de Junho. Mais tarde, foi publicado o Decreto-Lei 4/2007, de 8 de Janeiro, que após sucessivos ajustamentos ao Decreto-Lei 113/93, levou à republicação deste último e à integração do conteúdo da Portaria nº566/93, em anexo do Decreto-Lei nº4/2007, tornando-se este no documento que actualmente legisla os produtos de construção em Portugal (EP, 2009a).

A DPC foi criada com o objectivo de enquadrar o funcionamento do mercado interno europeu dos produtos da construção, estabelecendo condições para a sua livre circulação no Espaço Económico

Europeu (EEE), eliminando as barreiras técnicas através da padronização das suas características e satisfazendo exigências essenciais previstas nesta directiva, que a seguir se apresentam:

- Resistência mecânica e estabilidade;
- Segurança em caso de incêndio;
- Higiene, saúde e protecção do ambiente;
- Segurança na utilização;
- Protecção contra ruído;
- Economia de energia e isolamento térmico.



Figura 3.1 - Símbolo referente à marcação CE (LNEC, 2007)

A apresentação desta marcação é obrigatória para produtos de construção que satisfaçam em simultâneo os seguintes requisitos (EP, 2009a):

“(...) estejam destinados a serem incorporados ou aplicados de forma permanente na empreitada, estejam colocados no mercado comunitário e relativamente aos quais existam normas harmonizadas (NH), aprovações técnicas europeias (ETA ou ETAG) ou ainda especificações técnicas nacionais cuja referência seja publicada no Jornal Oficial da União Europeia.”

Assim, compete ao fabricante realizar os ensaios que conduzam à verificação de conformidade do seu produto de acordo com a Norma Harmonizada e, caso respeite as condições impostas, a colocação da marcação CE de conformidade antes da comercialização do seu produto. Deverá também ser emitida pelo fabricante uma Declaração de Conformidade ou, quando aplicável, o Certificado de Conformidade do Produto, emitido pelo Organismo Notificado envolvido no processo. Qualquer um destes dois documentos que digam respeito a produtos destinados a ser comercializados no mercado português, deverão estar redigidos em língua portuguesa, de acordo com o Decreto-Lei nº4/2007 (EP, 2009a).

No entanto, é também considerada a não obrigatoriedade da marcação CE em produtos de construção, sendo que esses produtos devem apresentar certificação da sua conformidade tendo em conta as especificações técnicas em vigor em Portugal, segundo o Decreto-Lei nº50/2008 de 19 de Março. No momento da recepção dos materiais, cabe ao Adjudicatário verificar a conformidade dos mesmos de acordo com a legislação nacional ou com as já mencionadas especificações técnicas, tendo de apresentar à Fiscalização o Certificado de Conformidade do produto (EP, 2009a).

É ainda contemplada a possibilidade de utilização dos produtos não preencherem qualquer uma das duas condições antes apresentadas, sendo que nesse caso a sua aplicação na empreitada fica condicionada à homologação do produto pelo LNEC. Poderão, no entanto, ser aceites produtos cuja homologação tenha sido dispensada pelo LNEC desde que seja apresentado um comprovativo escrito, emitido por esse laboratório, onde se apresentem os certificados de conformidade emitidos por uma

entidade aprovada em Estado membro da União Europeia, na Turquia ou por outro Estado subscritor do acordo do EEE que permita essa dispensa (EP, 2009a).

3.3.2 Novas Designações para Misturas Betuminosas

Com a entrada em vigor do novo acervo normativo europeu, foram revistas e alteradas as designações para as misturas betuminosas fabricadas a quente, cujos requisitos são agora definidos no conjunto de normas europeias da série EN 13108 e as suas propriedades são caracterizadas pelos métodos de ensaio descritos na série EN 12697.

No caso do CETO da EP, são abrangidas as partes 1 e 7 da EN 13108 que especificam, respectivamente, os requisitos para as misturas betuminosas do grupo do betão betuminoso e para as misturas betuminosas do grupo do betão betuminoso drenante.

No Quadro 3.1 é feita uma comparação entre a designação utilizada no CETO da JAE (“Designação anterior”) e a nova designação europeia (“Designação actual”) utilizada no CETO da EP, sendo composta por quatro elementos, apresentados na seguinte ordem: (1) sigla que caracteriza o tipo de mistura betuminosa; (2) abertura do peneiro superior, em mm, que retém material granular da mistura; (3) camada a que se destina a mistura; (4) gama de penetração do betume utilizado na mistura.

Quadro 3.1 - Designação das misturas betuminosas (adaptado de EP, 2009c)

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	AC 14 bin ligante (BB)
	Argamassa Betuminosa com betume modificado	AC 4 bin ligante (AB)
Regularização	Macadame Betuminoso Fuso A	AC 20 reg ligante (MB)
	Mistura Betuminosa Densa	AC 20 reg ligante (MBD)
	Betão Betuminoso	AC 14 reg ligante (BB)
	Argamassa Betuminosa com betume modificado	AC 4 reg ligante (AB)
Desgaste	Betão Betuminoso	AC 14 surf ligante (BB)
	Betão Betuminoso Rugoso	AC 14 surf ligante (BBr)
	(micro) Betão Betuminoso Rugoso	AC 10 surf ligante (mBBr)
	Betão Betuminoso drenante	PA 12,5 ligante (BBd)
AC - sigla que advém do termo inglês <i>Asphalt Concrete</i> , referindo-se a Betão Betuminoso; PA - sigla que advém do termo inglês <i>Porous Asphalt</i> , referindo-se a Betão Betuminoso drenante ligante - designação do ligante utilizado, de acordo com a sua gama de penetração (ex: 35/50 ou 50/70); base / bin / reg / surf - referem-se aos termos em inglês <i>base course / binder course / regulating course / surface course</i> referindo-se à camada de base / camada de ligação / camada de regularização / camada de desgaste, respectivamente.		

As siglas contidas entre parêntesis na coluna “Designação actual”, referem-se às siglas antes utilizadas para as misturas apresentadas na coluna “Designação anterior” e que no CETO da EP continuam a ser utilizadas, embora não façam parte da norma europeia EN 13108.

As misturas do grupo do betão betuminoso drenante, especificadas na EN 13108-7, destinam-se apenas a camadas de desgaste e por isso não lhe é atribuída a abreviatura *surf*.

Embora não sejam abrangidas por nenhuma norma europeia da série EN 13108, as misturas betuminosas com betume modificado com borracha também estão incluídas no CETO da EP, sendo que as suas propriedades são avaliadas pelas metodologias de ensaio apresentadas na série EN 12697.

Actualmente, existe já um projecto de norma portuguesa (prNP 4501) que determina os requisitos do betume a ser utilizado nestas misturas. De acordo com este projecto de norma, admitem-se três tipos de betumes (IPQ, 2010c):

- BBB - Betume de baixa viscosidade modificado com granulado de borracha, numa percentagem de inferior a 8% em relação à massa total do ligante.
- BBM - Betume de média viscosidade modificado com granulado de borracha, numa percentagem entre 10 e 14% em relação à massa total do ligante.
- BBA - Betume de alta viscosidade modificado com granulado de borracha, numa percentagem superior a 18% em relação à massa total do ligante.

No entanto, e de acordo com o CETO da EP (EP, 2009c) estes betumes destinam-se apenas a misturas betuminosas para camadas de desgaste, utilizando-se unicamente os betumes de média e alta viscosidade para misturas abertas (MBA-BBM e MBA-BBA, respectivamente) ou rugosas (MBR-BBM e MBR-BBA, respectivamente).

Também já incluída no CETO da EP, está a norma NP EN 13108-8, que refere as condições de aplicação de resíduos de misturas betuminosas a incorporar em misturas a quente fabricadas em central.

As restantes misturas consideradas na série EN 13108 não estão incluídas no CETO da EP e portanto, dentro do contexto nacional, descarta-se a necessidade de desenvolver uma explicação sobre a designação que lhes é atribuída. No entanto, referem-se as partes desta série EN e as respectivas misturas a que dizem respeito:

- EN 13108-2; *Bituminous mixtures - Material specifications - Part 2: Asphalt Concrete for very thin layers*;
- EN 13108-3; *Bituminous mixtures - Material specifications - Part 3: Soft Asphalt*;
- EN 13108-4; *Bituminous mixtures - Material specifications - Part 4: Hot Rolled Asphalt*;
- EN 13108-5; *Bituminous mixtures - Material specifications - Part 5: Stone Mastic Asphalt*;
- EN 13108-6; *Bituminous mixtures - Material specifications - Part 6: Mastic Asphalt*;

No CETO da EP (EP, 2009c), refere-se que o sistema de avaliação de conformidade das misturas betuminosas é composto pelas normas portuguesas integrantes da mesma série EN 13108. São elas:

- NP EN 13108-20: Misturas Betuminosas - Especificações dos materiais - Parte 20: Ensaio de Tipo;
- NP EN 13108-21: Misturas Betuminosas - Especificações dos materiais - Parte 21: Controlo de Produção em Fábrica.

3.3.3 Série de Peneiros

O CETO da EP adoptou o novo acervo normativo europeu que implementou uma nova gama de peneiros a utilizar para a avaliação granulométrica das misturas de agregados destinadas a camadas não ligadas ou a misturas betuminosas, deixando para trás as dimensões antes utilizadas no CETO da JAE, referentes à série de peneiros ASTM.

Desta forma, a norma europeia EN 13043 (CEN, 2002), já transposta para NP, define as dimensões dos peneiros a utilizar, sendo composta por uma “Série Base” e por outras duas séries (“Série Base + Série 1” e “Série Base + Série 2”), servindo estas como opções de peneiros a utilizar para a determinação da granulometria, não sendo admissível a utilização de peneiros de séries diferentes num ensaio de peneiração. Apresenta-se no Quadro 3.2 as séries mencionadas, tanto a referente à norma EN bem como à série ASTM, antes utilizada pela JAE.

Quadro 3.2 - Dimensão dos peneiros utilizados no CETO da EP e no CETO da JAE

Série de peneiros EN			Série de peneiros ASTM (mm)
Série Base (mm)	Série Base + Série 1 (mm)	Série Base + Série 2 (mm)	
0*	0*	0*	0*
1	1	1	---
2	2	2	2 (nº10)
4	4	4	4,75 (nº4)
---	5,6 (5)	---	---
---	---	6,3 (6)	---
8	8	8	---
---	---	10	9,5 (3/8")
---	11,2 (11)	---	---
---	---	12,5 (12)	12,5 (1/2")
---	---	14	---
16	16	16	16 (5/8")
---	---	20	19 (3/4")
---	22,4 (22)	---	25 (1")
31,5 (32)	31,5 (32)	31,5 (32)	---
---	---	40	37,5 (1 1/2")
---	45	---	---
63	63	63	50 (2")

* - peneiros com malhas de dimensão entre 0 e 1 mm são apresentados no Quadro 3.3

- No caso da série de peneiros EN, os números que se apresentam entre parêntesis podem ser utilizados para uma descrição simplificada, como acontece com AC 32 base.

- Para a série ASTM, os valores entre parêntesis representam a dimensão das malhas em polegadas ou a classificação numérica atribuída aos peneiros com dimensão de malha mais pequena.

A série de peneiros EN, apresentados na EN 13043, não enuncia no mesmo quadro os peneiros com dimensões entre 0 e 1 mm. Com base nos respectivos CETO (EP, 2009c; JAE, 1998b), são apresentados no Quadro 3.3 as malhas usualmente utilizadas para a definição granulométrica das camadas compostas por material não ligado ou por misturas betuminosas a quente.

Quadro 3.3 - Peneiros EN e ASTM com malhas de dimensão entre 0 e 1 mm, em mm

Série Base + Série 2	0,500	0,250	0,125	0,063
Série ASTM	0,850 (nº20)	0,425 (nº 40)	0,180 (nº80)	0,075 (nº200)

O CETO da EP recorre à “Série Base + Série 2” apresentada no Quadro 3.2 para a análise granulométrica das misturas betuminosas a quente dado que é a combinação que melhor representa as misturas mais produzidas no nosso país. Assim, são considerados os seguintes peneiros, na ordem apresentada: 1,4D, D, peneiro característico intermédio, peneiro extra opcional, 2 mm, peneiro característico intermédio, peneiro extra opcional e 0,063 mm.

No caso das misturas não ligadas, compostas por ABGE, para camadas de sub-base e base, a gama de peneiros é idêntica para ambas as camadas, apresentando a seguinte configuração: 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm e 0,5 mm. Esta ordem é definida pela norma EN 13285 (CEN, 2003b) em função da designação (mínima e máxima dimensão - d/D) da mistura que neste caso é 0/31,5. A referência aos peneiros a utilizar é feita com recurso às primeiras sete letras do alfabeto (A até G) onde “D” refere-se ao peneiro de maior abertura (31,5 mm) e as restantes letras, por ordem alfabética, aos demais peneiros, por ordem decrescente, tal como apresentado anteriormente.

Devido à diferença de dimensão das malhas, a utilização dos peneiros EN levou ao necessário ajuste dos fusos granulométricos (Lima, et al., 2010). A título de exemplo, apresenta-se na Figura 3.2 o novo fuso granulométricos para ABGE (CETO EP), em comparação com o antigo (CETO JAE), a aplicar em camada de sub-base ou base.

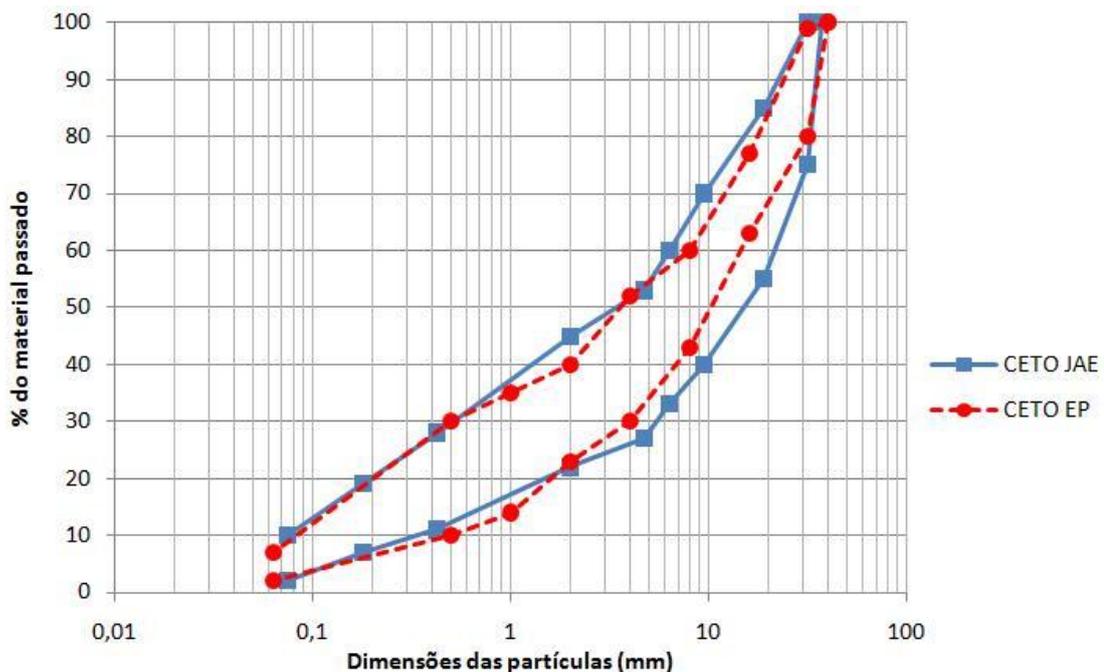


Figura 3.2 - Fuso granulométrico para ABGE em sub-base ou base

Analisando os fusos granulométricos apresentados, verifica-se uma redução da área do fuso granulométrico para os peneiros EN utilizados no CETO da EP, em relação aos antes utilizados no CETO da JAE. Foi feita a mesma comparação para a granulometria utilizada noutras misturas betuminosas a quente (AC 32 base; AC 20 base; AC 20 reg; AC 14 surf; PA 12,5), não se verificando no entanto, uma diferença tão relevante como a apresentada na figura anterior para o ABGE. Apresentam-se na Figura 3.3 os fusos granulométricos para AC 20 base, segundo o CETO da EP, que diz respeito a um macadame betuminoso (Fuso A), de acordo com o CETO da JAE.

A análise granulométrica realizada para misturas compostas por ABGE, segundo o CETO da EP, respeitas as normas EN 13242 e EN 13285 e no caso das misturas betuminosas a quente, respeita as normas EN 13043 (CEN, 2002) e EN 13108-1 (IPQ, 2011). A norma que define os procedimentos de

ensaio para estas camadas é agora a NP EN 933-1, que se refere ao método de peneiração para realizar a análise granulométrica.

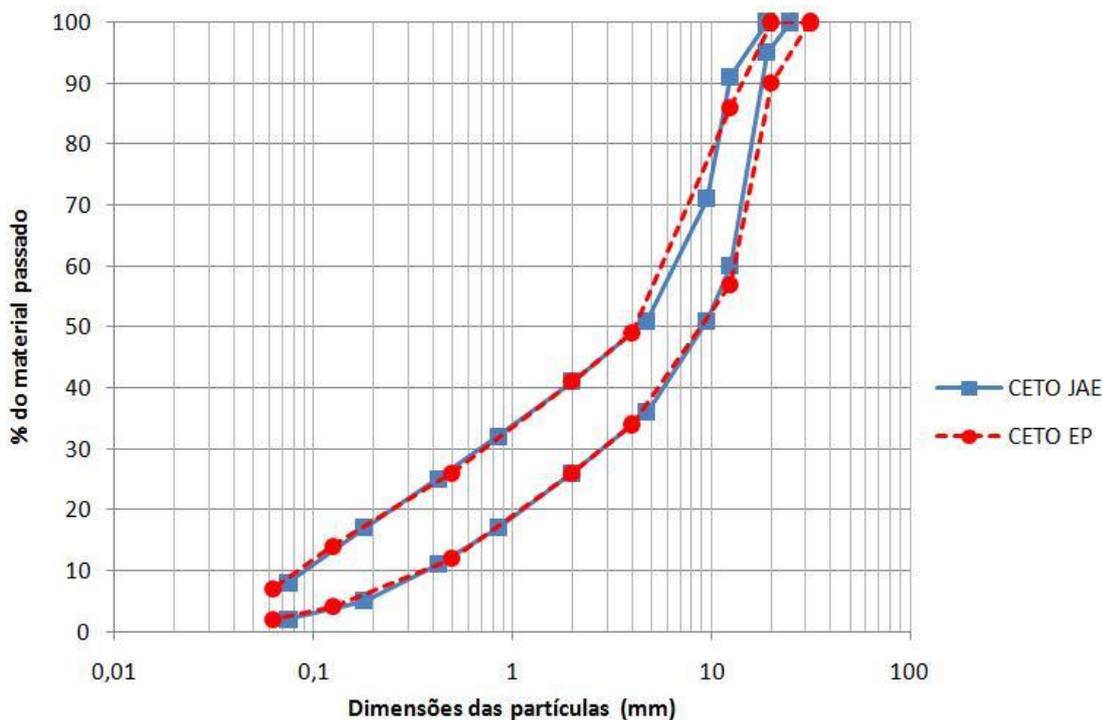


Figura 3.3 - Fusão granulométrica para agregados de AC 20 base

Embora tenha sido abandonada a utilização da série de peneiros ASTM para camadas compostas por misturas betuminosas a quente e para materiais granulares, o CETO da EP manteve a utilização da malha americana para as camadas compostas por solos seleccionados, apresentadas no CETO da JAE, onde se prevê como referência normativa a especificação LNEC E 196 que recorre à utilização de peneiros ASTM.

3.3.4 Propriedades a Avaliar e Métodos de Ensaio

Com a entrada em vigor do novo CETO, algumas normas ou especificações antes utilizadas para a caracterização dos materiais foram substituídas por normas europeias, embora na sua maioria, a essência dos ensaios não tenha sido alterada. Apresenta-se a seguir uma comparação com as principais alterações realizadas neste aspecto, referindo-se os materiais considerados para as várias camadas, os requisitos a avaliar, a norma que rege o ensaio e os valores de referência que devem ser cumpridos.

Camadas em Solos Seleccionados

No caso dos solos a incorporar em camadas de leito de pavimento e em camadas de sub-base, não houve alteração dos procedimentos de ensaios nem dos valores de referência a respeitar, mantendo-se por isso, o que vigorava no anterior CETO da JAE. Os requisitos em vigor e os respectivos valores de referência para este material, podem ser consultados no Quadro 2.2 do capítulo 2.3.1 deste trabalho.

Camadas em ABGE

Para camadas de sub-base e base compostas por ABGE verificam-se as alterações apresentadas nos Quadros 3.4 e 3.5, respectivamente, tendo como referência o CETO da JAE (JAE, 1998b) e o CETO da EP (EP, 2009c).

Analisando o Quadro 3.4, além das alterações às referências normativas, verifica-se que foram adicionados dois novos requisitos aos que estavam anteriormente estipulados pelo CETO da JAE. Dos

requisitos que se mantiveram, o valor mínimo do equivalente de areia sofreu uma redução de 5% oferecendo agora maior tolerância, ao passo que no caso do coeficiente de Los Angeles, o valor de referência manteve-se.

Quadro 3.4 - Requisitos do ABGE para camadas de sub-base

Requisitos	CETO JAE		CETO EP	
	Referência normativa	Valor	Referência normativa	Valor
Coeficiente de Los Angeles	LNEC E 237	≤ 45 % (granulometria A)	NP EN 1097-2	≤ 45 % ⁽¹⁾
Equivalente de areia (EA) e Azul de metileno	LNEC E 199 AFNOR 18-592	EA ≥ 45 % ou EA < 45 % com VA _C * < 30	NP EN 933-8 NP EN 933-9	Se teor em finos > 3 %, então SE ≥ 40. Caso SE < 40, então MB ≤ 2,5 g/kg
Índice de achatamento	-	-	NP EN 933-3	FI ₃₅
Coeficiente micro-Deval	-	-	NP EN 1097-1	M _{DE} 35
* - VA _C refere-se ao valor de azul de metileno corrigido (1) - como a norma NP EN 13242 não possui a categoria LA ₄₅ é indicado o valor requerido SE - abreviatura do termo inglês <i>Sand Equivalent</i> que se refere ao termo português Equivalente de Areia (EA)				

Quadro 3.5 - Requisitos do ABGE para camada de base

Requisitos	CETO JAE		CETO EP	
	Referência normativa	Valor	Referência normativa	Valor
Coeficiente de Los Angeles	LNEC E 237	≤ 40 % (granulometria A)	NP EN 1097-2	LA ₄₀
Equivalente de areia (EA) e Azul de metileno	LNEC E 199 AFNOR 18-592	EA ≥ 50 % ou EA < 50 % com VA _C * < 25	NP EN 933-8 NP EN 933-9	Se teor em finos > 3 %, então SE ≥ 50. Caso SE < 50, então MB ≤ 2,0 g/kg
Índices de lamelação e de alongamento	BS 812	≤ 35 %	-	-
Índice de achatamento	-	-	NP EN 933-3	FI ₃₀
Coeficiente micro-Deval	-	-	NP EN 1097-1	M _{DE} 25
* - VA _C refere-se ao valor de azul de metileno corrigido SE - abreviatura do termo inglês <i>Sand Equivalent</i> que se refere ao termo português Equivalente de Areia (EA)				

No caso das camadas de base constituídas por ABGE, verifica-se que os valores de referência para o coeficiente de Los Angeles e para o equivalente de areia não sofreram alteração, no entanto, foi suprimida a avaliação dos índices de lamelação e de alongamento, sendo agora a forma das partículas avaliada pelo índice de achatamento. Foi também introduzido o ensaio micro-Deval que indica resistência ao desgaste por atrito do agregado grosso.

Segundo o CETO da JAE (JAE, 1998b), o valor de azul de metileno corrigido (VA_C) pode ser calculado pela seguinte expressão (3.1):

$$VA_C = VA \times \frac{\%P\#200}{\%P\#10} \times 100 \quad (3.1)$$

em que:

VA é o valor de azul de metileno obtido pelo método da mancha de areia no material de dimensão inferior a 0,075 mm;

%P#200 é a percentagem acumulada de material que passa no peneiro nº 200 ASTM (0,075 mm);

%P#10 é a percentagem acumulada de material que passa no peneiro nº 10 ASTM (2 mm);

Em adição, no CETO da EP (EP, 2009c) são designados novos requisitos para o ABGE, comuns às duas camadas, além da granulometria já apresentada no subcapítulo 3.3.3 (Figura 3.2), os quais se apresentam a seguir no Quadro 3.6.

Quadro 3.6 - Requisitos comuns às camadas de sub-base e base compostas por ABGE

Requisitos	Referência normativa	Valor
Percentagem de partículas esmagadas ou partidas nos agregados grossos	NP EN 933-5	$C_{90/3}$
Massa volúmica das partículas e Absorção de água	NP EN 1097-6	A declarar
"Sonnenbrand" do basalto	NP EN 1367-3 NP EN 1097-2	Em caso de dúvida, onde existam indícios de "Sonnenbrand", perda de massa após ebulição ≤ 1 e $SB_{LA} \leq 8$
Resistência ao gelo-degelo, valor de absorção de água como ensaio de triagem e valor de sulfato de magnésio	NP EN 1097-6 NP EN 1367-2	Se a absorção de água for superior a $WA_{24,2}$, então o valor do sulfato de magnésio deve estar enquadrado em MS_{35}

Camadas de Misturas Betuminosas a Quente

No caso das misturas betuminosas a quente a aplicar nas camadas de base, ligação, regularização e desgaste, também foram adicionados novos requisitos ao CETO da EP. Definiram-se os requisitos para os agregados e para a própria mistura betuminosa segundo as novas normas de ensaio e de produto, com base em resultados de ensaios efectuados e na experiência já adquirida com misturas betuminosas. Mantiveram-se os ensaios do tipo empírico (ensaio Marshall) dado ainda não existir experiência para a abordagem fundamental, baseada em ensaios de desempenho (Lima, et al., 2010).

A título de exemplo, e devido à diversidade de misturas betuminosas a quente que existe, apresenta-se no Quadro 3.7 uma comparação entre os requisitos do CETO da JAE e do CETO da EP para uma mistura betuminosa a quente, do tipo AC 20 base (macadame betuminoso fuso A). A escolha desta mistura baseia-se no facto de ser de corrente utilização e dos seus requisitos e valores de referência serem idênticos para as misturas de granulometria idêntica aplicadas em camadas de ligação e de regularização (AC 20 bin e AC 20 reg).

Analisando o Quadro 3.7, verifica-se que além da actualização das referências normativas decorrentes do novo acervo normativo europeu, também alguns valores foram modificados ou ajustados às condições das normas como é o caso da estabilidade mínima no ensaio Marshall, do VMA mínimo, da porosidade e do índice de resistência conservada.

A granulometria da mistura foi também ajustada às novas dimensões de peneiros da série EN, como já foi apresentado na Figura 3.3.

Adicionalmente, foram introduzidos dois novos ensaios que avaliam a resistência às deformações permanentes (através do equipamento *wheel-tracking*) e a sensibilidade à água da mistura em análise.

Quadro 3.7 - Requisitos da mistura AC 20 base (macadame betuminoso - fuso A)

Requisitos		CETO JAE		CETO EP	
		Referência normativa	Valor	Referência normativa	Valor
Características Marshall	Moldagem	ASTM D 1559	75 pancadas	EN 12697-30	75 pancadas
	Estabilid., máx		15 kN	EN 12697-34	Smax15 ⁽¹⁾
	Estabilid., mín		8 kN		Smin7,5
	Deform., máx		4 mm		F4
	Deform., mín		-		F2
	Quoc. Marshall, mín		-		Qmin2
VMA, mín		ASTM D 2041	13%	EN 12697-8	VMamin14
Porosidade, Vm		ASTM D 2041	4 - 6%	EN 12697-8	Vmin3,0 - Vmax6
Relação ponderal fíler/ligante		-	1,1 - 1,5	-	A declarar
Índice de Resistência Conservada (IRC) em ensaios Marshall, mín		ASTM D 1075	70%	MIL-STD-620A	80%
Resistência à deformação permanente (<i>wheel-tracking</i>)		-	-	EN 12697-22	A declarar
% de ligante, mín		-	-	-	3,5% ⁽²⁾
Sensibilidade à água, ITSR		-	-	EN 12697-12	A declarar

As condições de ensaio devem ser consultadas no Quadro 14.03.2d do CETO da EP.
(1) - para granitoídes e agregados com predominância de sílica, a sua estabilidade máxima será 21 kN.
(2) - valor mínimo para o ensaio Marshall; como a norma NP EN 13108-1 não apresenta a categoria Bmin3,5 é indicado a percentagem mínima requerida.

3.3.5 Frequência de Ensaios

Em conjunto com a alteração de alguns dos ensaios a realizar para a verificação da conformidade dos materiais a aplicar, também a frequência de realização desse controlo foi alterada. São apresentados no Quadro 3.8 a quantidade de ensaios e os períodos considerados no CETO da JAE (JAE, 1998a) e no CETO da EP (EP, 2009a) para uma camada de sub-base ou base composta por ABGE.

Verifica-se que no CETO agora em vigor, vários requisitos são avaliados por lote¹², enquanto outros que antes eram avaliados por volume (m³) são agora avaliados em função do material aplicado numa dada área (m²). Alguns dos requisitos apresentados não têm informação para o número de ensaios e frequência dos mesmos devido ao facto de terem sido retirados do novo CETO, como é o caso do limite de liquidez ou do limite de plasticidade. Por outro lado, os requisitos sem informação nas colunas referentes aos dados do CETO da JAE dizem respeito àqueles que foram introduzidos no novo CETO e que não eram contemplados no anterior.

No que às misturas betuminosas a quente diz respeito, também houve alterações na frequência de verificação dos materiais, sendo muito semelhante ao que acontece com o ABGE para sub-base e base (introdução da verificação por lotes, novos requisitos a verificar, entre outros).

¹² De acordo com a definição apresentada no subcapítulo 3.2.1.

Quadro 3.8 - Frequência de ensaios para ABGE em sub-base ou base

Requisitos	CETO JAE		CETO EP	
	Nº de ensaios	Período ou quantidade correspondente	Nº de ensaios	Período ou quantidade correspondente
Granulometria	1	por cada 2.500 m ³ ou dia	1	por lote ⁽¹⁾
Limite de liquidez	1	por cada 2.500 m ³ ou dia	-	-
Limite de plasticidade	1	por cada 2.500 m ³ ou dia	-	-
Índice de achatamento	-	-	1	por lote ⁽¹⁾
% partículas esmagas e partidas	-	-	1	por cada 20.000 m ² ^{(1) (2)}
Equivalente de areia	1	por cada 2.500 m ³ ou dia	1	por lote ⁽¹⁾
Azul de metileno	1	por cada 2.500 m ³ ou dia	1	por lote ⁽¹⁾
Compactação pesada (Proctor)	1	por cada 10.000 m ³ ou semana de trabalho	1	por cada 20.000 m ² ⁽¹⁾
Coefficiente de Los Angeles	a repetir conforme heterogeneidade		1	por cada 30.000 m ² ⁽¹⁾
Coefficiente micro-Deval	-	-	1	por cada 30.000 m ² ⁽¹⁾
Massa volúmica e absorção de água de inertes	1	por cada 10.000 m ³ ou semana de trabalho	1	por cada 20.000 m ² ⁽¹⁾
Teor em água e Baridade <i>in situ</i>	3	em cada 12,5	3	em cada 12,5 m
Regularidade (Régua 3 m)	1	em cada 25 m por faixa de rodagem	1	em cada 25 m (longitudinal e transversal)

(1) - a executar durante a aplicação em obra e no armazenamento a cada 10.000 m³;
(2) - a executar por lote no caso do agregado ser seixo britado

3.3.6 Avaliação da Camada Terminada e Pagamentos

A edição do novo CETO da EP, mais concretamente o capítulo “15.03 - Pavimentação - Métodos Construtivos” (EP, 2009d), apresenta algumas inovações em relação ao capítulo 15.03 do CETO da JAE (JAE, 1998c), no que à avaliação das unidades terminadas diz respeito.

Destaca-se a introdução de critérios de aceitação ou rejeição para as diversas camadas do pavimento, onde são apresentados intervalos de tolerância para a aceitação da camada e a respectiva acção correctiva a realizar, caso o valor obtido para a especificação em avaliação não seja satisfatório, isto é, não permita a aceitação da camada.

Para exemplificar esta alteração, apresenta-se no Quadro 3.9 as especificações, critérios de aceitação ou rejeição e a acção correctiva a tomar no caso de rejeição de uma especificação da unidade terminada, para uma camada de sub-base composta por solo. Acrescenta-se que para efeitos de verificação de conformidade, a avaliação é realizada por lote, recorrendo à definição apresentada anteriormente no subcapítulo 3.2.1.

Para cada especificação é atribuída uma condição de aceitação, no caso da especificação “cota da camada” a condição será “igual à cota de projecto”, sendo que à frente se apresentam os intervalos de tolerância (critérios de aceitação/rejeição) e as respectivas acções correctivas. Quando os valores obtidos nos ensaios conduzem a uma acção correctiva do tipo “não aplicável” significa que a camada se apresenta conforme e por isso será aceite. Caso os valores medidos não respeitem os valores de aceitação, há então lugar a uma acção correctiva que pode ser imediata (escarificar e refazer a camada) ou não (compensar na camada seguinte).

Quadro 3.9 - Especificações e critérios de aceitação para camada de sub-base em solos (EP, 2009d)

Especificações		Crítérios de aceitação/rejeição	Acção correctiva
Compactação relativa	Média resultados > 97 %	90 % de resultados individuais > 97 %	Não aplicável
		Mais de 10 % de resultados individuais < 97 %	Escarificar e refazer a camada
Espessura da camada	Média igual à espessura de projecto podendo ter 5 % de resultados individuais < 90 % da espessura de projecto	Média \geq 95 % espessura de projecto	Não aplicável
		$85 \% \leq$ Média < 95 % espessura de projecto e não existe retenção de água	Compensar na camada seguinte
		Média < 85 % da espessura de projecto	Escarificar e refazer camada
Cota da camada	Iguar à cota de projecto	Até - 25 mm relativamente à cota de projecto	Não aplicável
		Entre - 26 mm e - 30 mm (inclusive) relativamente à cota de projecto	Compensar na camada seguinte
		Inferior a - 31 mm ou superior à cota de projecto	Corrigir a camada

Ao passo que no anterior CETO da JAE não eram apresentadas tolerâncias para as especificações nem as acções correctivas a tomar caso se verificasse o não cumprimento da especificação (com excepção da espessura da camada), a introdução desta informação no novo CETO veio trazer maior objectividade e clareza ao processo de aceitação das camadas.

Uma outra novidade apresentada no CETO da EP é a introdução de penalizações económicas que permitem a aceitação da camada aplicada, dentro de um intervalo de valores para uma dada especificação, mas com uma redução do valor a pagar pelo Dono de Obra ao Adjudicatário. Esta solução é aplicada apenas em camadas compostas por misturas betuminosas a quente e apenas em alguns critérios, como é o caso da avaliação da espessura, da porosidade ou da capacidade estrutural do pavimento.

No capítulo 5 são apresentadas estas fórmulas e será feita uma análise mais aprofundada sobre as vantagens e inconvenientes da sua utilização no que diz respeito às penalizações aplicadas nos pagamentos das camadas.

3.4 Considerações Finais

Ao longo do presente capítulo foram apresentadas as principais alterações que os capítulos (ou rubricas) 14.00, 14.03 e 15.03 do CETO da EP trouxeram aquando da sua edição, em Fevereiro de 2009, para substituir os mesmos capítulos (ou rubricas) do Caderno de Encargos antes em vigor, o CETO da JAE. Além destes capítulos, outros houve que sofreram alterações, mas por fugirem ao âmbito deste trabalho, foram excluídos da análise aqui realizada.

Refere-se que o CETO da EP continua a ser actualizado com alguma periodicidade, e portanto, à data da realização deste trabalho, estas eram as alterações mais significativas a apresentar.

Acrescenta-se ainda que devido à extensão dos dados que sofreram alteração, não foi possível apresentar toda essa informação neste trabalho, e por isso é apenas feita aqui uma síntese dos temas

alterados, sem que toda a informação relativa às várias misturas betuminosas a quente seja apresentada.

Muito embora a organização do novo CETO da EP seja semelhante à do anterior CETO da JAE, destacam-se as alterações geradas nas designações das misturas betuminosas, a introdução de uma série de peneiros diferente daquela até então utilizada, o enquadramento no novo acervo normativo para a maioria dos métodos de ensaio e ainda os novos critérios adoptados para a verificação da conformidade das camadas.

Para as camadas não ligadas, compostas por solos, não se verifica qualquer alteração nas referências normativas de ensaio, em relação ao disposto anteriormente no CETO da JAE. As alterações atrás mencionadas dizem respeito às camadas compostas por ABGE e às compostas por misturas betuminosas a quente.

Todas estas alterações visam não só actualizar e melhorar os procedimentos nacionais, mas também uniformizar os mesmos com a prática europeia.

4 CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO/REJEIÇÃO

4.1 Introdução

De acordo com a interpretação feita ao CETO da EP (EP, 2009d), um critério de aceitação ou rejeição de uma camada caracteriza-se como um intervalo de valores de tolerância, para uma dada especificação, que permite a aceitação da camada. Caso o valor medido não respeite esse intervalo, isto é, não permita a aceitação da camada, há então lugar a uma acção correctiva para que se alcance a conformidade da especificação e consequentemente da camada. Ainda neste subcapítulo serão apresentadas as várias acções correctivas consideradas.

Para o caso das misturas betuminosas, quando um determinado valor (obtido em ensaio, para uma camada aplicada) dum determinada especificação não cumpre com o intervalo de tolerância para a aceitação da camada, existe a possibilidade de a camada ser aceite mediante uma penalização económica, aplicada ao Adjudicatário, desde que o valor obtido se inclua no intervalo de tolerância assumido para essa penalização económica. No capítulo 5 será feita uma análise aos valores limite de aplicação destas penalizações e à sua adequabilidade.

Neste capítulo começa-se por apresentar os vários tipos de especificações conhecidas, entre elas as utilizadas no passado e as especificações actualmente em vigor.

No subcapítulo 4.3 referem-se as diferentes metodologias para a determinação da extensão de um lote, para que no subcapítulo 4.4 seja feita uma descrição dos procedimentos de avaliação das características finais das camadas que compõem o pavimento, segundo o CETO da EP, abordando sempre que necessário, outros métodos utilizados pelas entidades em estudo e que permitem realizar a verificação dum dado parâmetro.

Finalmente será apresentada uma análise aos diferentes critérios de aceitação e rejeição para camadas de pavimentos rodoviários flexíveis, considerados no CETO da EP, servindo este documento como base de comparação com outros CETO em vigor na actualidade não só em Portugal, mas igualmente em países como o Brasil, Espanha e Inglaterra.

4.2 Tipos de Especificações

A utilização de um caderno de encargos impõe a aplicação dum determinado tipo de especificações, isto é, as exigências do Dono de Obra para a execução dos trabalhos e/ou características finais que o produto deve apresentar. A seguir referem-se por ordem cronológica de implementação, os vários tipos de especificações conhecidos.

4.2.1 Especificações de Método (*Method Specifications*)

É o procedimento mais antigo de entre os vários tipos de especificações e como o próprio nome sugere, o Dono de Obra exige ao Adjudicatário que siga um determinado método de produção e aplicação. Assim sendo, a produção de misturas betuminosas é realizada com a utilização de materiais e respectivas proporções de acordo com as condições pré-estabelecidas, tipo receita. Os procedimentos de aplicação e os equipamentos a utilizar estão também predefinidos (AASHTO, 2003).

As características finais do pavimento não são comprovadas, visto que não existem critérios estabelecidos para essa análise, baseando-se unicamente na qualidade e no cumprimento da utilização de materiais e procedimentos definidos.

Este tipo de especificações delega ao Dono de Obra (ou o seu representante) a responsabilidade de manter o controlo sobre a execução dos trabalhos, restando ao Adjudicatário apenas executar os trabalhos contratualizados (AASHTO, 2003).

A avaliação das propriedades é realizada sobre uma única amostra que representará uma quantidade considerável de material aplicado, não considerando claramente a variabilidade das características que os materiais apresentam em toda a extensão aplicada. Este facto origina incerteza na tomada de decisões quando se verifica a não conformidade de um parâmetro, sendo difícil determinar se o processo deve ser corrigido, a produção parada ou a camada removida. Uma amostra que respeite todos os parâmetros pode levar à aceitação de um pavimento de qualidade inferior e vice-versa (AASHTO, 2003).

Pelo facto de não serem estabelecidos critérios de qualidade, as decisões de aceitação das camadas executadas de acordo com este tipo de especificações são arbitrárias e retiram algum poder ao Dono de Obra (ou Fiscalização) para rejeitar uma camada que apresente anomalias visíveis após a execução, como por exemplo o caso de segregações de material (AASHTO, 2003).

Em suma, este tipo de especificações apresenta alguns pontos fracos, entre eles o facto de não permitir ao Adjudicatário apresentar soluções alternativas e inovadoras que lhe permitam executar os trabalhos de forma mais económica sem comprometer a qualidade final, sendo por isso um entrave à evolução das técnicas de pavimentação.

A análise da conformidade segundo estas especificações não contempla a verificação final do pavimento e leva a que o pagamento ao Adjudicatário não seja realizado com base na qualidade de execução nem de acordo com o desempenho a longo prazo. Actualmente, este tipo de especificação é utilizada no Reino Unido.

4.2.2 Especificações de Resultado Final (*End-Result Specifications*)

Estas especificações foram introduzidas no final da década de 50 do século XX, pela AASHTO, sendo caracterizadas por delegarem ao Adjudicatário a total liberdade e responsabilidade para a escolha do equipamento e metodologias a utilizar, assim como o controlo e verificação da qualidade de produção e aplicação dos materiais, cabendo ao Dono de Obra (ou Fiscalização) apenas a verificação *in situ* do produto final e da conformidade com os valores inicialmente estabelecidos para fundamentar a sua decisão de aceitação ou rejeição do produto final (AASHTO, 2003).

Este tipo de especificações confere total autonomia ao Adjudicatário para desenvolver novas técnicas e/ou procedimentos de execução do seu trabalho e melhorar a qualidade do seu produto final. Este facto permite a inovação da técnica, o aumento da eficiência e a redução de custos (Pavement Interactive, 2009).

No entanto, e caso o Dono de Obra identifique o produto final como não conforme, deixa pouca margem para a correcção do material já aplicado, revelando-se como uma opção arriscada para ambas as entidades, dado que aumentará os custos do Adjudicatário e atrasará a entrega da obra ao Adjudicante. Outro problema associado a estas especificações é a dificuldade de determinar critérios

razoáveis para os requisitos finais e relacioná-los com as propriedades dos materiais (AASHTO, 2003).

4.2.3 Especificações de Verificação de Qualidade (*Quality Assurance Specifications*)

Este tipo de especificação evoluiu a partir das anteriores e baseia-se na condição de exigir ao Adjudicatário a execução do controlo de qualidade e à Fiscalização, em representação do Dono de Obra, a verificação de conformidade durante os processos de produção e aplicação dos materiais, assim como a verificação do produto final. Esta verificação final é baseada num estudo estatístico dos valores obtidos na medição dos parâmetros exigidos à aceitação da camada, através de algumas amostras representativas do produto final (AASHTO, 2003).

Sempre que existam dúvidas nos resultados obtidos ou quando se entenda necessário, a Fiscalização poderá realizar ensaios para o controlo das propriedades dos materiais ou produto final, assumindo o Adjudicatário os custos dos mesmos.

De acordo com a AASHTO (2003), este é o tipo de especificação que melhor define as responsabilidades do Adjudicatário e Dono de Obra, tornando-se mais justo para ambos, dado que:

- Assume as variações das características dos materiais;
- Delega a responsabilidade do controlo de qualidade ao Adjudicatário, tendo em conta os procedimentos estabelecidos pelo Dono de Obra, permitindo a este último (ou Fiscalização) a verificação da conformidade dos procedimentos e valores de ensaio;
- Identifica as características e os critérios a verificar para a realização e aceitação dos trabalhos;
- Contempla acertos nos pagamentos dos trabalhos realizados, tendo em conta a qualidade final dos mesmos.

Como referido, este tipo de especificação baseia-se num princípio estatístico associado à distribuição Normal dos valores medidos, que considera que a verificação dum conjunto de amostras aleatórias de trabalho executado é representativa do total do produto final (lote). Nesta avaliação por lotes, cada parâmetro assume valores mínimos, máximos ou intervalos de tolerância que devem ser respeitados para a verificação da conformidade.

A transmissão ao Adjudicatário da responsabilidade no controlo da qualidade dos materiais e/ou procedimentos, dá-lhe a liberdade suficiente para apresentar propostas alternativas de materiais ou processos, e a possibilidade de os aplicar, desde que seja comprovada a sua eficácia e cumprimento dos requisitos inicialmente estabelecidos pelo Dono de Obra.

São também introduzidos neste conceito de especificação os ajustes de pagamentos para duas situações de verificação final das camadas e dentro de determinados limites, consoante o parâmetro em avaliação:

- Quando os valores obtidos se revelam próximos, mas não cumprem com os critérios mínimos estabelecidos, há lugar à redução do pagamento de uma percentagem do produto final. O produto que se verifique abaixo de um nível mínimo de qualidade, será rejeitado, removido e substituído.
- Quando os valores obtidos para um dado parâmetro excedem determinados valores predefinidos, verifica-se a existência de um trabalho de qualidade superior e o Adjudicatário é

então premiado através da melhoria do pagamento inicialmente contratualizado para esse produto.

Este procedimento distingue-se das especificações de método porque além de avaliar as características finais das camadas, dá liberdade ao executante para inovar e utilizar materiais e/ou processos mais eficazes. Diferencia-se igualmente das especificações de resultado final, pelo facto do Dono de Obra (ou Fiscalização) acompanhar os processos de produção e aplicação dos materiais realizados pelo Adjudicatário e não apenas a verificação da conformidade do produto final.

Esta solução segue os procedimentos estabelecidos noutras indústrias de produção de bens e produtos, em que o Adjudicante verifica a conformidade dos processos de controlo de qualidade do Adjudicatário, que deve cumprir com os requisitos desejados para o produto final.

Este tipo de especificação é o mais utilizado actualmente, a nível mundial, pelas várias entidades responsáveis pela construção e manutenção das vias rodoviárias. Os documentos em estudo neste trabalho comprovam esse facto, dado que se caracterizam parcialmente ou totalmente pelas condições atrás descritas.

4.2.4 Especificações Relacionadas com o Desempenho (*Performance Related Specifications*)

De acordo com AASHTO (2003), este tipo de especificações recorre a relações entre as características de qualidade medidas no produto final (porosidade, regularidade da superfície, entre outras) e a vida útil prevista para o pavimento, associada a cada característica. São assim entendidas como uma ligação entre a qualidade de construção e o bom desempenho a longo termo do produto.

As especificações relacionadas com o desempenho são uma evolução das especificações de verificação de qualidade, apresentadas atrás, pelo facto de fundamentarem a decisão de aceitação do produto final em características chave de qualidade, medidas após a construção, que permitem relacionar as propriedades dos materiais com o seu desempenho e vida útil prevista, quantificados através de modelos matemáticos fundamentados por resultados obtidos em obras anteriores, representando de forma muito mais clara a influência de cada parâmetro no desempenho do produto a longo prazo (AASHTO, 2003).

Existem dois tipos de modelos considerados para estas especificações: (i) modelos de previsão de desempenho e (ii) modelos de custo de manutenção. Os primeiros permitem prever quando e com que intensidade se manifestará um determinado tipo de anomalia, como o fendilhamento por fadiga. Os segundos estimam os custos de manutenção necessários durante o período para o qual foi dimensionado o produto. Os dados a introduzir nestes modelos matemáticos são as variáveis de dimensionamento (como intensidade de tráfego, temperatura e características da fundação) e os valores medidos *in situ* para os parâmetros de qualidade (como a percentagem de ligante, a porosidade ou regularidade da superfície do pavimento) (AASHTO, 2003).

O funcionamento destes modelos depende da capacidade e vontade das entidades rodoviárias para recolher e compilar dados relativos à qualidade e respectivo comportamento das camadas ao longo dos anos de serviço, assim como os custos associados à sua construção e manutenção ao longo dos anos. Os sistemas de gestão rodoviária nem sempre permitem a introdução de todo este tipo de informação, o que atrasa a construção dos modelos necessários ao desenvolvimento e implementação deste tipo de especificação.

Estes modelos matemáticos são necessários na medida em que fornecem os critérios para a aceitação das camadas e, caso necessário, respectivos ajustes a realizar no pagamento do produto final ao Adjudicatário. Este acerto contratual é realizado pela relação entre as características finais da camada previstas em projecto e as mesmas características medidas após a aplicação.

4.2.5 Especificações Baseadas no Desempenho (*Performance Based Specifications*)

Este tipo de especificações representa a evolução mais recente neste campo de estudo. A decisão de aceitação da camada depende exclusivamente das características fundamentais dos materiais (como o módulo de rigidez ou a vida à fadiga) medidas após a sua aplicação, o que permite estimar a vida útil do pavimento através de modelos matemáticos. Procuram avaliar essencialmente o desempenho do produto final e não como foi construído (AASHTO, 2003).

Os critérios considerados para a aceitação da camada baseiam-se numa base de dados estatísticos que permite avaliar o funcionamento previsto para a camada, tendo em conta trabalhos executados anteriormente e o seu desempenho ao longo da sua vida útil.

Esses modelos matemáticos, tal como para o caso das especificações relacionadas com o desempenho, permitem estimar o ciclo de vida do pavimento e consequentemente, ajustar o pagamento do que está construído ao que foi projectado.

De acordo com AASHTO (2003), este tipo de especificações ainda não são utilizadas actualmente. No entanto, as especificações desenvolvidas no âmbito do projecto SUPERPAVE, nos EUA, são um primeiro passo para a constituição de um documento totalmente baseado no desempenho, graças à introdução da classificação de *Performance Grade*. O facto de estar dependente da vontade/capacidade para a introdução de novos dados pelas entidades rodoviárias, dificulta o desenvolvimento desta especificação, sendo que actualmente o seu desenvolvimento estará dependente de estudos conduzidos por outras entidades como a FHWA ou o TRB, nos EUA, que permitam o melhoramento dos modelos considerados.

4.3 Definições de Lote

As várias entidades em estudo admitem diferentes definições para a determinação da dimensão do lote. Neste subcapítulo serão apresentadas essas diferenças de forma a poder enquadrar os vários procedimentos.

Como já se referiu no capítulo 3, o anterior CETO da JAE não recorria à definição de lote para determinar a extensão de material a avaliar. Já o CETO da EP apresenta essa definição para a verificação da conformidade de todo o tipo de camadas, indicando o número de ensaios a realizar por lote, sendo que em situações específicas explicita a extensão pretendida.

Relembra-se que a dimensão de lote a considerar deve ser a menor extensão que resulte da aplicação dos seguintes critérios (EP, 2009d):

- Quinhentos metros (500 m) de extensão de faixa;
- Três mil e quinhentos metros quadrados (3500 m²) de faixa;
- A extensão construída num dia.

Esta definição de lote aplica-se não só ao CETO da EP, mas também aos documentos utilizados pela Brisa e MF, tanto para camadas não ligadas como ligadas e a quantidade de ensaios a realizar varia consoante o requisito a avaliar.

Enquanto as restantes entidades recorrem ao valor médio do lote para comparação com os valores de projecto, o DNIT utiliza uma avaliação estatística, definida no documento DNER-PRO 277/97 (DNER, 1997), baseada na determinação do número de amostras a utilizar em função dos riscos de aceitação/rejeição da camada. Assim, são utilizadas as seguintes alternativas de decisão:

- Para valores mínimos:

Se $\bar{X} - k \cdot s \geq$ valor mínimo admitido \rightarrow aceita-se o serviço. Caso contrário é rejeitado.

- Para valores máximos:

Se $\bar{X} + k \cdot s \leq$ valor máximo admitido \rightarrow aceita-se o serviço. Caso contrário é rejeitado

- Para valores incluídos num intervalo:

Se $\bar{X} - k \cdot s <$ valor mínimo admitido ou $\bar{X} + k \cdot s >$ valor máximo admitido \rightarrow rejeita-se o serviço. Caso contrário a camada será aceite.

Sendo que:

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n} \tag{4.1}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \tag{4.2}$$

em que:

\bar{X} é a média da amostra;

x_i representa cada um dos valores individuais;

n é o número de determinações (tamanho da amostra);

s é o desvio padrão;

k é o coeficiente tabelado em função do número de determinações.

O valor “k” é determinado em função do número de amostras recolhidas para avaliação dum determinado requisito, estando também associado ao número de amostras o risco do Empreiteiro ver um serviço de qualidade aceitável ser rejeitado (α). Estas duas variáveis seguem uma distribuição normal e os seus valores são apresentados no Quadro 4.1, em função de “n”.

Quadro 4.1 - Relação entre n, k e α segundo uma distribuição Normal

n	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	19	21
k	1,55	1,41	1,36	1,31	1,25	1,21	1,16	1,13	1,11	1,10	1,08	1,06	1,04	1,01
α	0,45	0,35	0,30	0,25	0,19	0,15	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
	n - nº de amostras					k - coeficiente multiplicador				α - risco do executante				

Desta forma, verifica-se que quanto maior o número de amostras, maior será a possibilidade do Empreiteiro ver aceite um serviço de qualidade.

O tamanho das amostras deve ser documentado e apresentado previamente à Fiscalização. A extensão do lote varia consoante o requisito em avaliação.

No caso inglês, a HA não define qual o procedimento a adoptar para a determinação da extensão do lote, deixando apenas indicada a distância entre cada medição de determinado requisito.

A definição de lote considerada pela EP para a CFP é diferente da utilizada na verificação da conformidade das camadas. Para este procedimento, um lote passa a corresponder a 500 metros de extensão em cada uma das vias existentes e no caso dos ensaios em contínuo, considera-se como um valor individual a média de resultados medidos num trecho de 100 m.

4.4 Métodos de Avaliação das Especificações

Neste subcapítulo serão abordados os métodos de avaliação das características finais das camadas não ligadas, das camadas ligadas com misturas betuminosas a quente e a CFP, procurando-se explicar cada procedimento com base nas normas e especificações que o regem.

4.4.1 Camadas Não Ligadas

Os materiais que compõem as camadas não ligadas são os solos seleccionados e os agregados britados de granulometria extensa (ABGE). As camadas compostas por solos seleccionados, e avaliadas neste trabalho, são a camada de leito de pavimento e a camada de sub-base. As compostas por ABGE são a camada de sub-base e a camada de base.

A seguir apresentam-se os critérios definidos pelo CETO da EP que são considerados para a verificação de conformidade e a descrição do procedimento para obtenção dos valores *in situ* que permita a comparação e verificação com os valores de projecto e consequente aceitação da camada. Como já se referiu, os critérios “Superfície da Camada” e “Teor em Água” foram adicionados a esta avaliação, sendo os critérios utilizados pelas várias entidades apresentados nos Quadros do Anexo A.

Superfície da Camada

Para este trabalho, a avaliação deste parâmetro foi dividida em 3 partes, muito embora nem todos estes critérios sejam sempre referidos nos CETO, variando com o tipo de camada, sendo eles os seguintes:

a) Inclinação Transversal

Esta característica é estabelecida durante a execução das primeiras camadas do pavimento, essencialmente no leito do pavimento, onde se procura garantir desde logo a inclinação estabelecida em projecto para a via rodoviária. Assim, esta inclinação permanece constante até à camada superficial, já que a espessura de todas as camadas sobrejacentes são constantes.

A inclinação transversal é uma característica fundamental, já que dela também dependem as condições de segurança de circulação em curva e de drenagem do pavimento. O seu valor é expresso em percentagem (%), sendo que é admitida com um valor constante (no sentido longitudinal) de 2,5% em recta, mas quando em curva apresenta um valor variável. Após a construção da camada, a inclinação transversal é verificada pelo controlo topográfico.

b) Aspecto Visual

Esta avaliação, como o próprio nome indica, é realizada por um elemento da fiscalização e sem recurso a qualquer instrumento de controlo, baseando-se apenas na sua percepção visual do aspecto superficial da camada.

Pretende-se que sejam identificadas, caso existam, possíveis anomalias na superfície da camada como é o caso de fissuras, ondulações ou material solto, assim como possíveis zonas de segregação de materiais.

Na Figura 4.1 apresenta-se a superfície de uma camada de sub-base em ABGE que apresenta um bom aspecto superficial, sem ocorrência de fissuras ou de qualquer segregação.



Figura 4.1 - Aspecto superficial duma camada de sub-base em ABGE

c) Irregularidades

Esta verificação realiza-se com o objectivo de comprovar a regularidade da superfície da camada no sentido longitudinal e transversal. Esta avaliação decorre em pontos distanciados em 25 m com recurso a uma régua de 3 metros, fixa ou móvel, consoante seja avaliado o perfil transversal ou longitudinal, respectivamente.

O operador coloca a régua na superfície do pavimento e verifica, com recurso a uma régua menor, a diferença entre o topo da superfície do pavimento e a face inferior da régua.

Teor em Água

Esta propriedade é determinada inicialmente em laboratório, com o objectivo de encontrar o teor em água que a mistura de material não ligado deve apresentar antes de se iniciar o processo de compactação da camada em obra para se obter o valor pretendido de compactação.

O teor em água assume uma importância significativa, dado que a quantidade de água nestes materiais afecta a capacidade das suas partículas se reorganizarem quando sofrem o processo de compactação. Quando uma mistura de material apresenta um teor em água ideal antes de ser compactada, garante-se que após a compactação, esta apresentará um volume de vazios ideal na mistura que permite que a sua resistência às compressões verticais seja otimizada, após compactação.

O ensaio para a determinação do seu valor em laboratório é o ensaio de compactação Proctor, cujos resultados fornecem uma estimativa da massa volúmica que é possível conferir ao material quando aplicado na obra, servindo como um valor de referência para avaliar a densidade da camada depois de compactada. Estes resultados permitem também deduzir o teor em água ao qual o material se torna mais fácil de compactar para obter uma determinada massa volúmica seca (CEN, 2005).

No caso das camadas compostas por solos, o CETO da EP prevê a utilização da especificação LNEC E 197 (LNEC, 1967a) já que a norma EN 13286-2, também ela referida no CETO da EP, se aplica exclusivamente a misturas de agregados.

Em obra, a sua verificação é realizada depois de espalhada a camada e antes da passagem do compactador, com recurso a um gamadensímetro. Caso se verifique uma diferença significativa do teor em água em relação ao obtido em laboratório, haverá então lugar à rega da camada com água (Figura 4.2) ou escarificação desta, no caso de se encontrar com um teor reduzido ou excessivo de água, respectivamente.



Figura 4.2 - Rega com água numa camada não ligada

Embora o CETO da EP não apresente qualquer procedimento para esta verificação *in situ*, recorre-se correntemente à verificação com recurso ao gamadensímetro (Figura 4.3). Este aparelho radioactivo, que faculta leituras do teor em água e do peso volúmico seco, está equipado com uma fonte de emissão de radiação e um receptor para registo das radiações emitidas. O seu funcionamento baseia-se na leitura da perda de energia que os neutrões emitidos (rápidos) sofrem após a colisão com os átomos de hidrogénio, transformando-se em neutrões lentos. Quanto maior o número de neutrões lentos registados pelo receptor, maior será o teor em água da camada (Santos, 2008).



Figura 4.3 - Gamadensímetro

O DNIT prevê a possibilidade de utilização de dois procedimentos alternativos ao utilizado em Portugal, como o método do álcool (DNER, 1994c) ou o método do *speedy* (DNER, 1994b).

O primeiro, de acordo com Santos (2008), é principalmente utilizado em solos arenosos, não podendo ser utilizado em solos orgânicos nem outros que contenham gesso. O teor em água é determinado em laboratório pela adição de álcool etílico a uma amostra de solo, procedendo-se de seguida à sua queima e verificação da variação da massa da amostra.

O método do *speedy*, realizado *in situ*, consiste em recolher uma amostra de material (solo ou ABGE) e, dentro de um dispositivo medidor de pressão (garrafa *speedy*), provocar a sua reacção com carboneto de cálcio que dará origem à libertação de gases. O aumento de pressão provocado pela libertação de gases revela o teor de água presente na amostra, que será tanto maior quanto maior for a pressão registada no manómetro (Santos, 2008).

Compactação Relativa

A compactação de uma camada diz-se “relativa” quando se comparam os resultados obtidos em obra com os determinados nos ensaios de referência em laboratório. O valor da compactação relativa é dado em percentagem e resulta do quociente entre a baridade seca obtida em obra e a baridade seca determinada em laboratório através do ensaio Proctor.

Este é o critério mais importante a ser avaliado neste tipo de camadas e daí ser alvo de maior exigência e cuidados na sua execução. Uma camada que apresente valores baixos de compactação relativa poderá dar origem à ocorrência de deformações permanentes prematuras na superfície do pavimento, após a entrada em serviço da via.

Para a determinação da baridade em laboratório de solos seleccionados, o CETO da EP refere a LNEC E 197 (LNEC, 1967a) para a realização do ensaio Proctor. Já no caso das camadas compostas por ABGE, o mesmo ensaio que antes era definido pela especificação LNEC E 197, está agora normalizado pela EN 13286-2 (CEN, 2005), devido à adaptação do CETO ao novo acervo normativo europeu.

Quanto à sua verificação *in situ*, esta pode ser feita de forma expedita com a utilização de um gamadensímetro que fornece de imediato o valor da compactação relativa, desde que seja introduzido o valor da baridade seca de laboratório.

O DNIT prevê a verificação da compactação *in situ*, através de dois métodos distintos: (i) com recurso ao balão de borracha (DNER-ME 036/94, (DNER, 1994a)) ou (ii) pelo método da garrafa de areia (DNER-ME 092/94, (DNER, 1994d)).

De acordo com o capítulo 14.00 do CETO da EP (EP, 2009a), o método da garrafa de areia deve ser utilizado para a determinação da baridade dos solos *in situ* e para calibração do gamadensímetro, seguindo a especificação LNEC E 204 (LNEC, 1967b).

O CETO da EP estipula que para as camadas de leito de pavimento e sub-base deve verificar-se uma compactação relativa média superior de 97%, ao passo que para a camada de base esse valor mínimo sobe para 98%.

Espessura da Camada

Quando está a ser aplicado, o material a ser compactado é colocado com uma espessura superior à final para que depois do processo de compactação se obtenha a espessura de projecto, ou valores o mais aproximados possível. Na Figura 4.3 é possível observar ao fundo a diferença de altura entre uma camada compactada e outra ainda por compactar.

O valor da espessura é avaliado através do controlo topográfico, aquando da verificação da cota da camada, sabendo os valores das cotas antes e depois da aplicação da camada, pela diferença de valores.

Cota da Camada

O controlo da cota final da camada é realizado através de aparelhos topográficos que fornecem a cota altimétrica de um dado ponto medido de acordo com um referencial. Esta verificação é realizada por um topógrafo e um porta miras, em que o segundo coloca a mira no ponto a ser medido e o primeiro lê os dados fornecidos pelo teodolito.

Actualmente, algumas das máquinas em operação numa obra de pavimentação (como é o caso da motoniveladora, na Figura 4.4) permitem que lhe seja acoplado um sistema de controlo topográfico.



Figura 4.4 - Motoniveladora com sistema de controlo topográfico

4.4.2 Camadas em MBQ

Para as camadas de pavimentos compostas por misturas betuminosas a quente, apresentam-se a seguir os critérios utilizados pelo CETO da EP para a aceitação da camada. Neste conjunto incluem-se as camadas de base, ligação, regularização e desgaste.

Optou-se por apresentar os critérios de forma conjunta, já que estes são os mesmos para todas as camadas, variando no entanto nos valores limite de aceitação para cada tipo de mistura e camada a que se destina.

De acordo com o CETO da EP (EP, 2009d), esta verificação de conformidade é realizada tendo em conta a definição de lote apresentada no capítulo 4.3. Este documento revela ainda que em cada lote são extraídos pelo menos 5 carotes, em pontos aleatoriamente seleccionados, para que seja determinada a espessura, a porosidade, e a aderência da camada, entre outros.

Para realizar a extracção de carotes (carotagem), utiliza-se uma máquina caroteadora que permita um corte vertical e com uma forma cilíndrica na camada betuminosa. Na Figura 4.5 observa-se uma máquina deste tipo em operação (à esquerda) e o vazio deixado na camada após a extracção do carote (à direita).

Apresentam-se a seguir as especificações a avaliar, de acordo com o CETO da EP (EP, 2009d).



Figura 4.5 - Extracção de carote de mistura betuminosa

Espessura da Camada

A espessura da camada, como já foi referido atrás, é avaliada pela extracção de carotes de mistura betuminosa e a medição destes é realizada com o auxílio de uma fita métrica com escala legível.

Na Figura 4.6, observa-se a medição de um carote (no momento posterior à sua extracção do pavimento) duma camada de base.



Figura 4.6 - Verificação da espessura de um carote

O valor médio calculado para cada lote, resultado da medição de pelo menos 5 carotes, é depois sujeito à aplicação dos critérios de aceitação da camada do CETO da EP, com base na espessura de projecto.

O lote será aceite para esta especificação se os valores sujeitos à avaliação respeitarem as condições de aceitação, caso contrário, haverá lugar à aplicação de acções correctivas que podem ir desde a compensação de espessura na camada seguinte, passando por penalizações económicas até, em casos mais graves, à escarificação e execução de uma nova camada no lugar daquela, por conta do Adjudicatário.

De acordo com o CETO da EP (EP, 2009d), a camada de regularização não é alvo desta avaliação devido à variação da sua espessura na extensão longitudinal.

Espessura Total das Misturas Betuminosas

Este critério só pode ser avaliado no final da execução de todas as camadas, quando da extracção de carotes em toda a espessura das camadas betuminosas para a determinação da espessura da camada de desgaste, tal como nas camadas subjacentes.

Pretende-se com esta avaliação, comparar a espessura de material betuminoso executado com o determinado em projecto.

Porosidade

Esta característica revela o volume de ar existente num provete betuminoso, expresso em percentagem em relação ao volume total desse provete.

Para calcular a porosidade (V_m), é necessário conhecer a baridade máxima teórica da mistura betuminosa¹³ (ρ_m) e a baridade aparente de cada provete¹⁴ (ρ_b), ambos com a mesma unidade. De seguida, recorre-se à expressão (4.3) que a seguir se apresenta (CEN, 2003a):

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \times 100 \quad (4.3)$$

A verificação é depois realizada com recurso ao Quadro 4.2, presente no CETO da EP (EP, 2009d), tendo em conta a mistura betuminosa em avaliação e os requisitos individuais de cada carote e da média dos valores do lote.

Quadro 4.2 - Requisitos de porosidade para as várias misturas (EP, 2009d)

Requisitos	Tipo de Mistura						
	AC 32 (MB)	AC 20 (MB) AC 20 bin (MB) AC 20 bin (MBD) AC 20 reg (MB) AC 20 reg (MBD) AC 10 surf (mBBr) AC 14 surf (BBr) AC 4 (AB) MBR-BBA MBR-BBM	AC 20 (MBAM)	AC 16 bin (MBAM)	AC 14 bin (BB) AC 14 reg (BB) AC 14 surf (BB)	PA 12,5 (BBd)	MBA-BBA MBA-BBM
Porosidade média de um lote (%)	4 - 8	3 - 8	2 - 8	2 - 7	3 - 7	22 - 32	12 - 20
Porosidade individual de cada tarolo (%)	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 9	≤ 9	22 - 34	12 - 22

Algumas das entidades em estudo neste trabalho avaliam o nível de compactação da camada aplicada através da compactação relativa, isto é, pela relação obtida entre a baridade medida em obra e a do estudo de formulação Marshall, expressa em percentagem.

Existe no entanto uma expressão (4.4) que permite relacionar a porosidade medida em obra (*in situ*) com a compactação relativa e que se apresenta na seguinte forma (Franklin, 1997):

¹³ Calculada segundo a EN 12697-5, procedimento A - picnómetro de vácuo, para a % óptima de betume;

¹⁴ Calculada segundo a EN 12697-6, procedimento B - provete saturado com superfície seca.

$$\text{Porosidade}_{\text{in situ}} = \text{Porosidade}_{\text{lab}} + (100 - \% \text{Comp. Relativa}) \quad (4.4)$$

Para uma porosidade medida em laboratório de 5%, que se enquadra nos valores do Quadro 4.2 para as misturas tradicionais, uma compactação relativa de 97% (limite típico nesta avaliação) corresponderá a uma porosidade em obra de 8%, também ele um limite para a maioria das misturas apresentadas no quadro anterior.

Para reforçar esta demonstração, as CTG da Brisa (Brisa, 2006) referem duas alternativas para a avaliação da compactação: (i) quando relativa à baridade Marshall deve ser usado o valor mínimo de 97% e (ii) quando relativa à baridade máxima teórica, deverá assumir-se um valor de 92%. Ora, para uma compactação de 92% relativa à baridade máxima teórica, corresponde uma porosidade de exactamente 8%, quando a porosidade em laboratório se assumir como 5%.

Numa forma mais simples, pode-se multiplicar o valor da compactação relativa à baridade máxima teórica (admitindo 95%, numa mistura com porosidade de 5%) pela exigida como compactação relativa à baridade Marshall (admitindo 97%), dando-nos o valor complementar da porosidade obtida na camada (ou seja $95\% \cdot 97\% = 92,15\%$, que resulta numa porosidade de 7,85%, aproximadamente 8%)

Regularidade Superficial

Este parâmetro encontra-se dividido em 2 procedimentos distintos: o controlo topográfico e a verificação da regularidade longitudinal e transversal.

O controlo topográfico, de acordo com o CETO da EP (EP, 2009d), tem o objectivo de controlar as cotas e a largura da camada betuminosa executada, verificando a conformidade dos perfis longitudinais e transversais. No eixo e nos bordos dos perfis transversais são colocados marcas de referência de acordo com as cotas de projecto, de forma a controlar a inclinação transversal, a cota da camada e a largura do pavimento, a cada 12,5 metros.

A verificação da regularidade é realizada com recurso a uma régua de 3 m, fixa ou móvel, para os perfis transversais ou longitudinais, respectivamente, e é verificada a cada 25 metros de acordo com a norma EN 13036-7. A verificação de cada lote decorre 24 horas após a execução da camada e previamente à execução da camada seguinte. Os valores medidos, por lote, devem respeitar o disposto no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Critério de regularidade para camadas betuminosas (EP, 2009d)

Requisito	Camada de desgaste	Camadas subjacentes
Irregularidades máximas (mm)	≤ 4	≤ 8

A regularidade de uma superfície, sendo uma característica funcional do pavimento, tem especial influência na comodidade de circulação numa via rodoviária, dependendo no entanto da velocidade de circulação, no tipo de condução, nas distâncias de percurso, entre outras. Os defeitos da regularidade superficial reflectem-se na forma de frequências de oscilação com diferentes comprimentos, sendo que as de menor dimensão podem produzir enjoos e dores de cabeça e as mais elevadas afectam os órgãos internos e a coluna vertebral (Pinto, 2003).

Em casos extremos, pode prejudicar a segurança de circulação, originando perdas de atenção e percepção da estrada ou zonas de retenção de água que provoquem perdas de aderência entre o

pneumático e o pavimento. Pode também prejudicar os utentes a nível económico, levando a um maior consumo de combustível e desgaste da viatura (Pinto, 2003).

Num pavimento novo, estes sintomas provocados pela irregularidade da superfície não são aceitáveis, devendo-se portanto ter especial cuidado no processo de construção e compactação das camadas.

Aderência entre Camadas

Como já foi mencionado anteriormente, esta especificação é avaliada através da extracção de carotes do lote em avaliação, pretendendo-se verificar com este procedimento se existe uma qualquer deficiência na colagem entre quaisquer duas camadas betuminosas.

De acordo com o CETO da EP, não serão aceites os lotes onde se verifiquem problemas com o desprendimento de uma ou mais secções dos carotes extraídos.

Para que a estrutura do pavimento funcione como foi projectada, é essencial que se garanta a colagem entre as camadas betuminosas, garantindo-se assim que os esforços a que o pavimento é sujeito à superfície são dissipados pela fundação.

Macrotextura

A textura, outra das características funcionais de um pavimento, é essencial para a segurança e comodidade de circulação dos utentes, devido à sua importância na qualidade de aderência que confere entre os pneumáticos dos veículos e o pavimento.

Esta característica é determinada pelas irregularidades que o pavimento apresenta na sua superfície e que são classificadas de acordo com a sua dimensão, segundo 3 classes: microtextura, macrotextura e megatextura. Na Figura 4.7 apresenta-se a gama de valores para estas 3 classes, em função da amplitude (dimensão vertical) e comprimento de onda (dimensão horizontal) que caracteriza cada irregularidade.

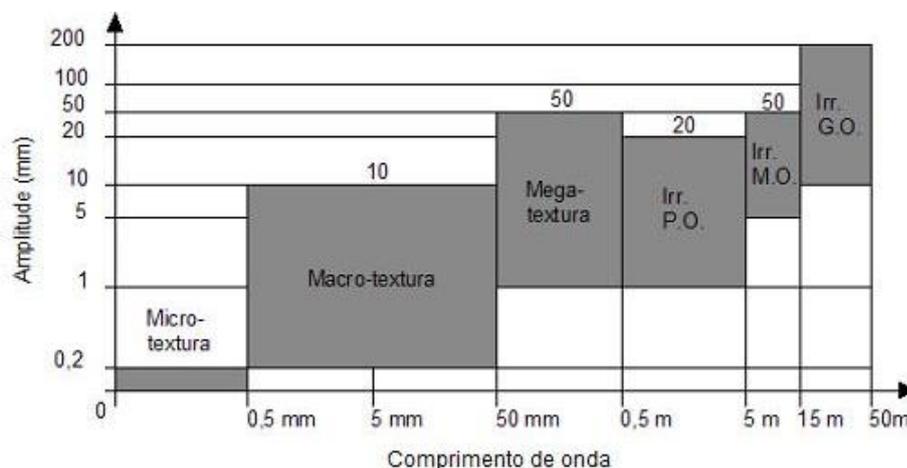


Figura 4.7 - Domínios de textura da superfície dum pavimento (adaptado de Branco, et al.,2008)

A microtextura é avaliada, embora de forma indirecta, pela medição do coeficiente de atrito e permite caracterizar uma superfície mais ou menos rugosa, que a olho nu aparenta ser lisa.

A macrotextura integra-se na mesma ordem de grandeza do relevo da superfície dos pneus e dos agregados, podendo ser avaliada de forma pontual (por um método volumétrico, como o ensaio da mancha de areia) ou contínua (método perfilométrico). Mais à frente, serão desenvolvidos os procedimentos de execução destes ensaios.

A megatextura não é geralmente avaliada, dado que é resultado de deformações ou degradações na camada de desgaste, estando compreendida num intervalo entre a macrotextura e as irregularidades, sendo considerada uma evolução anómala do pavimento e não uma característica intrínseca deste.

Quando os comprimentos de onda avaliados são superiores a 0,5 m, assume-se que se referem a “irregularidades”, como rodeiras ou outro tipo de deformações, não sendo incluídos nos domínios da textura. Estas irregularidades podem manifestar-se tanto na direcção longitudinal como na transversal e a sua avaliação pode ser feita pontualmente, como já foi descrito atrás na caracterização da “Regularidade Superficial”, ou em contínuo com recurso a perfilómetros.

Como supracitado, o ensaio da mancha de areia permite caracterizar a macrotextura de um pavimento, sendo um bom indicador do atrito entre o pneumático e o pavimento, especialmente para vias com velocidade de circulação elevada.

Este ensaio, normalizado pela EN 13036-1, consiste no espalhamento de um volume de esferas de vidro (ou areia fina normalizada) sobre a superfície limpa e seca do pavimento e, com o auxílio de um disco circular, espalha-se a areia com movimentos circulares até que esta preencha todas as depressões do pavimento e que não seja possível aumentar a dimensão do círculo. De seguida mede-se o diâmetro do círculo, com uma aproximação de 1 mm, considerando como resultado de ensaio a média de pelo menos 4 medições (CEN, 2001). Na Figura 4.8 demonstra-se este procedimento.



Figura 4.8 - Ensaio da mancha de areia

O resultado do ensaio é obtido pela profundidade média de textura (MTD - *Mean Texture Depth*) através da utilização da expressão (4.5) (CEN, 2001):

$$MTD = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2} \tag{4.5}$$

onde,

MTD é a profundidade média de textura (mm);

V é o volume da amostra de areia (mm³);

D é o diâmetro médio da mancha de areia (mm).

Os valores obtidos neste ensaio devem respeitar os mínimos estabelecidos no CETO da EP, em função do tipo de mistura aplicada na camada em avaliação. No Quadro 4.4 apresentam-se esses valores.

Quadro 4.4 - Valores mínimos para o ensaio da mancha de areia (EP, 2009d)

Requisito	Tipo de Mistura					
	AC 10 surf (mBBr)	AC 14 surf (BBr)	AC 14 surf (BB)	PA 12,5 (BBd)	MBR-BBA MBR-BBM	MBA-BBA MBA-BBM
MTD - profundidade média de textura (mm)	≥ 1,0	≥ 1,0	≥ 0,7	≥ 1,2	≥ 1,0	≥ 1,1

Embora no capítulo 14.00 do CETO da EP (EP, 2009a) seja referida a norma EN 13036-1 para a realização do ensaio da mancha de areia, no capítulo 15.03 (EP, 2009d) do mesmo documento é referida a utilização do anexo A da norma ISO 10844:1994 (ISO, 1994). A principal diferença entre ambas reflecte-se no material de ensaio. Enquanto a EN refere a utilização de esferas de vidro, a norma ISO refere a utilização de areia normalizada. Pelo facto de ser um material fabricado, a vantagem da utilização de esferas de vidro reflecte-se na possibilidade de controlar a sua dimensão, ao passo que a areia, embora normalizada, não deixa de ser um produto natural e poderá apresentar ligeiras diferenças nas dimensões das suas partículas.

De acordo com o CETO da EP (EP, 2009d), este procedimento é realizado apenas em camadas de desgaste e só com o objectivo de proceder à aferição dos valores da macrotextura antes da realização da CFP, que utiliza o método contínuo, sendo esta última a única com função de aceitação ou rejeição da camada. O mesmo documento recomenda que o ensaio da mancha de areia seja executado ao longo da rodeira externa de cada lote e com um espaçamento de 100 metros entre cada ensaio.

No caso das camadas de base e de ligação/regularização, a macrotextura é avaliada visualmente, exigindo-se que a camada de mistura betuminosa a quente apresente uma macrotextura homogénea, uniforme e isenta de segregações.

Considerando constante para todos os ensaios o volume de esferas de vidro (ou areia normalizada) utilizado (25000 mm^3 de acordo com a EN 13036-1), e tendo em conta a expressão (4.5), pode afirmar-se que quanto maior o diâmetro da mancha de areia, menor será a MTD e por isso menor será a rugosidade do pavimento.

Para que se garanta o exposto no Quadro 4.4 para um AC14surf, o diâmetro máximo da mancha será de cerca de 213 mm.

Coefficiente de Atrito

Esta característica funcional define as condições anti-derrapantes da superfície dos pavimentos e como já foi referido, está dependente da microtextura e da macrotextura da superfície da mistura betuminosa aplicada. Desempenha por isso, um papel de destaque na segurança de circulação dos veículos, afectando variáveis como a segurança de circulação em curva ou a distância de travagem.

O seu valor é afectado por factores como a precipitação, o polimento dos agregados provocado pela circulação dos veículos, problemas de exsudação, entre outros.

Pode ser avaliado através de dois parâmetros distintos: o coeficiente de atrito longitudinal (CAL) e pelo coeficiente de atrito transversal (CAT). O primeiro está ligado à distância de travagem e o segundo à segurança de circulação em curva, sendo este o que mais influencia a segurança de circulação e consequentemente a ocorrência de acidentes (Branco, et al., 2008).

A sua avaliação pode ser realizada de forma pontual ou contínua. No primeiro caso recorre-se ao ensaio do pêndulo britânico, normalizado pela EN 13036-4. Para a medição em contínuo é utilizado um método com um pneu parcialmente bloqueado, para medir o atrito longitudinal, ou um método com roda de teste oblíqua, caso se pretenda medir o atrito transversal. Neste subcapítulo dar-se-á maior ênfase ao procedimento pontual dado que os restantes serão desenvolvidos no capítulo da CFP.

De acordo com o CETO da EP (EP, 2009d), a verificação do atrito no decorrer da execução da camada de desgaste pode ser realizada se o Adjudicatário assim o entender, com recurso ao pêndulo britânico,

de forma a proceder à verificação prévia do valor que este coeficiente irá apresentar aquando da CFP, que é a única determinação com função de aceitação ou rejeição.

O ensaio do pêndulo britânico (Figura 4.9) permite uma medição localizada do coeficiente de atrito longitudinal cinemático, através da verificação da energia absorvida por atrito provocada pela passagem de uma borracha normalizada sobre a superfície do pavimento. De acordo com Branco et al. (2008), as características do equipamento permitem simular a passagem do pneumático de um veículo sobre um pavimento molhado, a uma velocidade de 50 km/h.

Antes de iniciar o ensaio é necessária a calibração e nivelamento do dispositivo na superfície a ensaiar e a colocação do braço do pêndulo e da agulha de medição na posição horizontal. De seguida molha-se a superfície do pavimento e liberta-se o braço do pêndulo, segurando-o depois de este passar no pavimento e de registar o valor da medição, evitando assim que a borracha de ensaio volte a tocar na superfície e se degrade mais rapidamente.

Depois de registar a primeira medição (aproximada ao valor inteiro mais próximo), repete-se este procedimento mais 4 vezes, num total de 5 medições para cada ponto de ensaio, sendo o resultado final do ensaio, a média aritmética das 5 medições.

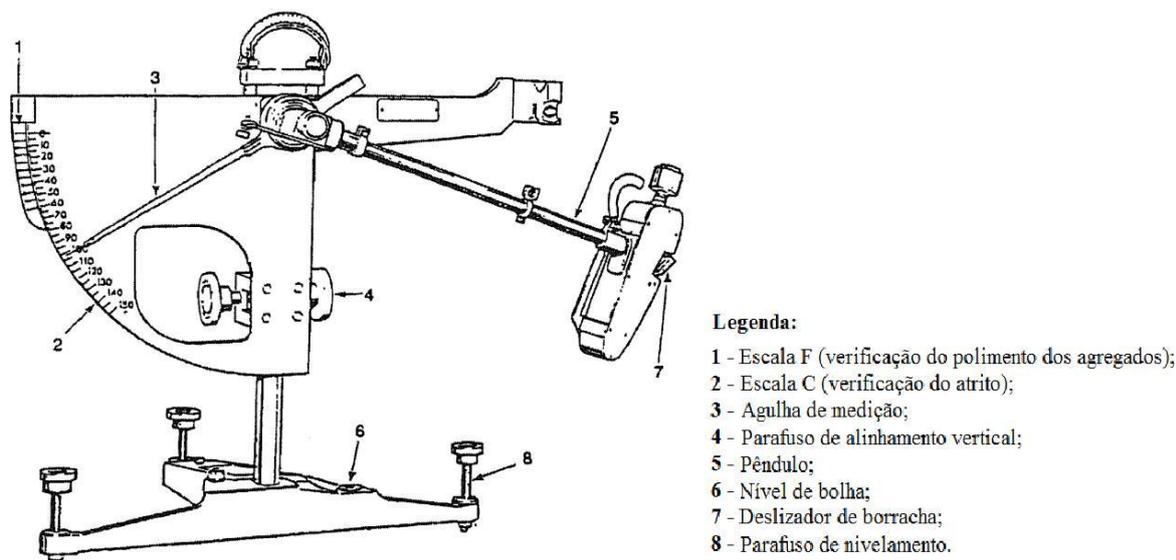


Figura 4.9 - Esquema do pêndulo britânico (adaptado de NP EN 1097-8 (IPQ, 2003))

Caso os valores medidos sejam diferentes em mais de 3 unidades BPN¹⁵, repete-se o ensaio até que se alcancem 3 medições consecutivas com o mesmo resultado, adoptando-se esse como o resultado do ensaio (CEN, 2004).

A temperatura de ensaio deve ser controlada através da medição da mesma antes da realização do primeiro ensaio, dado que este factor influencia os valores do coeficiente de atrito (Alves, 2007). Este ensaio só deve ser realizado numa gama de temperaturas entre os 5 e os 40 °C, sendo a temperatura de referência de 20 °C e para a qual será necessária adaptar os valores medidos caso o ensaio decorra além dos 30 °C ou abaixo dos 15 °C (CEN, 2004).

¹⁵ BPN (*British Pendulum Number*) refere-se à unidade deste ensaio, embora o CETO da EP refira PTV (*Pendulum Test Value*). Uma unidade BPN corresponde a um passo de 5 valores na escala do pêndulo britânico.

Quanto maior for o valor medido na escala deste dispositivo, maior será a energia absorvida durante a interação entre a borracha e o pavimento e portanto, maior será o atrito que o pavimento apresenta nas condições de ensaio.

O CETO da EP (EP, 2009d) recomenda que este ensaio seja realizado de 100 em 100 metros e os resultados obtidos deverão igualar ou superar o valor de 60 BPN.

4.4.3 Caracterização Final do Pavimento (CFP)

De acordo com o CETO da EP (EP, 2009d), a CFP realiza-se em toda a extensão da obra depois de concluídos todos os trabalhos no pavimento e antes da abertura ao tráfego. Deverá ser entregue um relatório ao Dono de Obra ou à Fiscalização, elaborado pelo Adjudicatário, onde constem dados como a localização dos locais de ensaio, a metodologia adoptada e respectivos equipamentos, assim como os valores determinados.

A seguir apresentam-se os parâmetros a serem avaliados, de acordo com o CETO da EP (EP, 2009d).

Índice de Irregularidade Internacional (IRI)

A avaliação da irregularidade longitudinal em contínuo pode ser realizada com recurso a equipamentos do tipo “reposta” ou a perfilómetros.

Os primeiros são os mais antigos e baseiam na resposta da suspensão de um veículo em movimento, ao longo da via em avaliação. A sua utilização caiu em desuso devido à impossibilidade de obter índices idênticos para diferentes veículos, chegando mesmo a verificar-se o registo de valores diferentes aquando da repetição da utilização do mesmo veículo numa dada via (Pinto, 2003). Segundo Branco et al. (2008), os resultados obtidos com esta técnica dependem do estado de conservação do veículo. Por estas razões, o CETO da EP rejeita a utilização deste tipo de equipamentos.

Quanto à utilização de perfilómetros, os equipamentos mais utilizados são os Analisadores do Perfil Longitudinal (APL - *Analyseur de Profil en Long*) e os equipamentos com de sensores do tipo laser.

O APL é um equipamento montado num reboque traccionado por um veículo ligeiro. Esse reboque é constituído por: (i) um amortecedor e uma mola; (ii) uma roda de medição; (iii) a ligação ao veículo; (iv) pêndulo inercial, como se pode constatar pela imagem da esquerda da Figura 4.10.

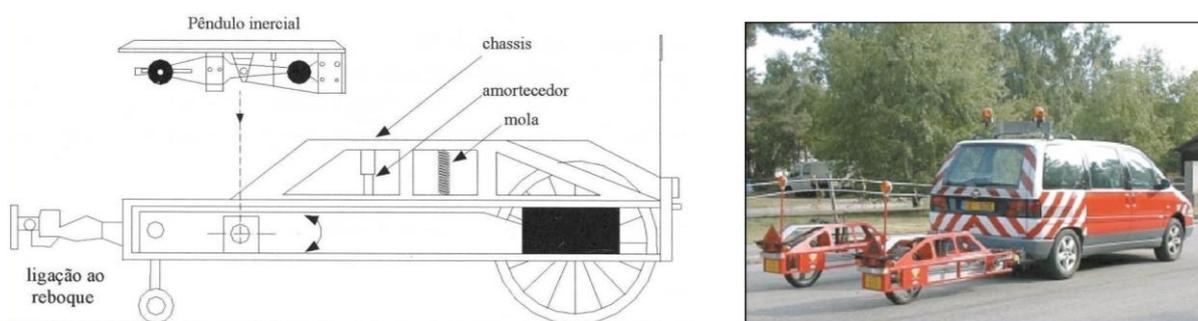


Figura 4.10 - Esquema do APL (Branco, et al., 2008) e equipamento em operação (LCPC, 2010)

A medida do perfil é realizada em função da medida das elevações em relação ao perfil médio (referencial inercial) e da referenciação espacial desse valor ao longo da medida. As oscilações no pavimento fazem variar o ângulo medido entre o braço de suporte da roda e a referência constituída pelo pêndulo inercial. Esse ângulo é convertido numa tensão directamente proporcional às elevações do perfil, por um equipamento de aquisição e tratamento de dados que se transporta no veículo ligeiro (Branco, et al., 2008).

No entanto, e de acordo com Branco et al. (2008), o processo mais utilizado actualmente para a análise do perfil longitudinal recorre a equipamentos com tecnologia laser. Este tipo de perfilómetro consiste numa viga de alumínio equipada com lasers, instalada na parte dianteira, ou traseira, de um veículo (Figura 4.11) e permite o levantamento do perfil da superfície do pavimento ao longo de alinhamentos paralelos ao sentido de deslocação do veículo (Alves, 2007).

Além dos sensores laser, este equipamento é constituído por acelerómetros verticais (para medição dos movimentos do veículo nesta direcção), um sistema de medição da distância e da velocidade e por um computador para a aquisição de dados (LNEC, 2008a).

Enquanto é realizado este ensaio, o operador que segue dentro do veículo pode visualizar as medições em tempo real e registar qualquer informação que julgue pertinente e que altere a leitura do perfil em avaliação, como a necessidade de ultrapassagem ou a passagem em obras de arte (Alves, 2007).

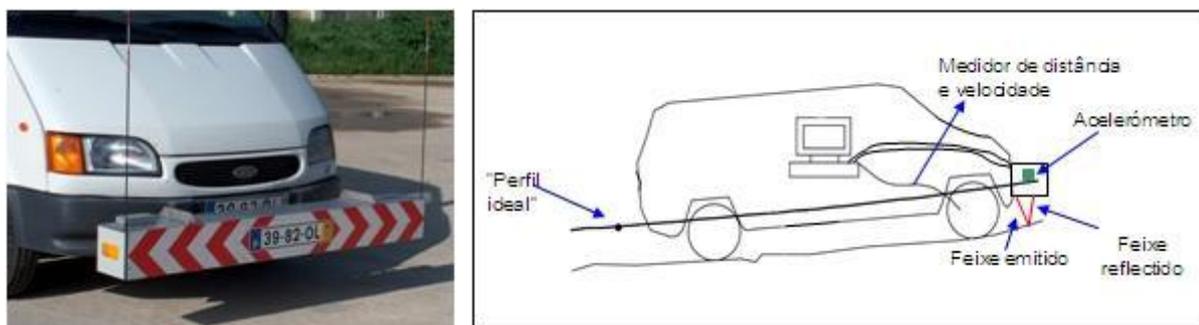


Figura 4.11 - Perfilómetro de laser (LNEC, 2008a)

De acordo com o InIR (InIR, 2011), este ensaio não pode ser realizado em condições de chuva ou piso molhado e a velocidade para a sua realização deve ser constante e de cerca de 60 km/h. Esta velocidade encontra-se na gama de valores aceitáveis para estes dois equipamentos, o que permite a obtenção de dados sem que estes sejam afectados pela velocidade do veículo.

Estes dois tipos de perfilómetros permitem a obtenção do IRI (*International Roughness Index*), um índice que foi desenvolvido pelo Banco Mundial, e que permite caracterizar o perfil longitudinal do pavimento, baseando-se num modelo matemático que visa representar a reacção duma suspensão em resposta à oscilação do pneumático (quarto de veículo), durante a circulação do veículo a uma velocidade de 80 km/h (Alves, 2007).

Este índice internacional representa de forma muito fiável as características da regularidade do pavimento, permitindo interpretar quais as que mais afectam os veículos que nele circulam e relacionar a irregularidade dum pavimento com os custos de manutenção de uma via e com os níveis de segurança e de conforto (Pinto, 2003).

Quanto maior o comprimento de onda de uma dada irregularidade num determinado troço, menor será o efeito no condutor e em consequência, menor será o valor do IRI para esse troço.

De acordo com o CETO da EP, o IRI é calculado por troços de 100 m e o valor médio obtido nas duas rodas, por cada troço de 100 m será o representativo desse troço. No Quadro 4.5 apresentam-se os valores admissíveis do IRI, para troços de 100 metros, de acordo com a EP.

Neste quadro são também apresentados os valores para as camadas betuminosas subjacentes, visto que a avaliação da regularidade longitudinal também pode ser avaliada em contínuo, através deste índice.

Em função dos valores obtidos, o CETO da EP prevê a classificação do IRI segundo o que se apresenta no Quadro 4.6.

Quadro 4.5 - Valores admissíveis de IRI (adaptado de EP, 2009d)

Requisito	Destino	Extensão do lote		
		50%	80%	100%
Valores admissíveis de IRI (m/km)	Camada de desgaste	≤ 1,5	< 2,5	≤ 3,0
	1ª camada subjacente	≤ 2,5	≤ 3,5	≤ 4,5
	2ª camada e seguintes camadas subjacentes	≤ 3,5	≤ 5,0	≤ 6,5

Quadro 4.6 - Classificação dos valores do IRI (EP, 2009d)

Muito Bom	Excede largamente os parâmetros exigidos
Bom	Cumprir os parâmetros exigidos exceção feita à percentagem da extensão do traçado com valores inferiores a 3,0 e 3,5, que deverá ser ≥ 95%
Razoável	Cumprir os parâmetros exigidos, exceção feita às percentagens de extensão do traçado com valores inferiores a 1,5 e 2,0; 3,0 e 3,5, onde se admitem respectivamente as percentagens de 40 e 90%
Medíocre	Não cumpre as exigências anteriores (razoável), mas apresenta valores de IRI de 1,5, 2,5 e 3,0; 2,0, 3,0 e 3,5 em percentagens do traçado superiores a 15, 60 e 85, respectivamente
Mau	Não cumpre os parâmetros exigidos nas classificações anteriores

Macrotextura Superficial

A determinação desta característica é realizada recorrendo à medição em contínuo da profundidade de textura da camada de desgaste, com o auxílio de equipamentos tipo laser instalados num veículo, ao longo da rodagem externa de cada uma das vias construídas, e seguindo o prescrito na norma NP ISO 13473-1, de acordo com o CETO da EP (EP, 2009d).

O equipamento utilizado deverá ser constituído por um laser de alta precisão que consiga registar a macrotextura do pavimento a uma velocidade constante de 60 km/h (InIR, 2011)

O resultado deste ensaio é expresso pelo valor da profundidade média do perfil (MPD, do inglês *Mean Profile Depth*) e segundo o CETO da EP, deve respeitar os valores apresentados no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 - Valores mínimos da MPD para medição em contínuo (adaptado de EP, 2009d)

Requisito	Tipo de Mistura					
	AC 10 surf (mBBr)	AC 14 surf (BBr)	AC 14 surf (BB)	PA 12,5 (BBd)	MBR-BBA MBR-BBM	MBA-BBA MBA-BBM
MPD - profundidade média do perfil (mm)	≥ 1,00	≥ 1,00	≥ 0,63	≥ 1,25	≥ 1,00	≥ 1,13

O valor de MPD obtido através deste ensaio permite fornecer um valor estimado para a profundidade de textura do pavimento (ETD, do inglês *Estimated Texture Depth*). ETD representa a mesma característica que MTD, distinguindo-se apenas por ser adquirido através da expressão 4.6, ao passo que MTD é obtido pelo método volumétrico da mancha de areia (Alves, 2007).

$$ETD = 0,2 + 0,8 \times MPD \quad (4.6)$$

Desta forma, podem ser comparados os valores obtidos pelo método volumétrico da mancha com os obtidos pela medição em contínuo.

Coefficiente de Atrito

Como já foi referido atrás, a avaliação do atrito em contínuo pode ser realizada pela medição do Coeficiente de Atrito Longitudinal (CAL) ou pelo Coeficiente de Atrito Transversal (CAT). O primeiro interessa fundamentalmente à distância de travagem e o segundo à segurança de circulação em curva.

O CAL resulta do quociente entre a força que se opõe ao deslocamento do rodado (F_x) e a reacção normal à carga exercida pela roda sobre o pavimento (F_z), para uma roda que se desloca com uma velocidade angular ω e velocidade V , como se verifica pela Figura 4.12 (Pinto, 2003).

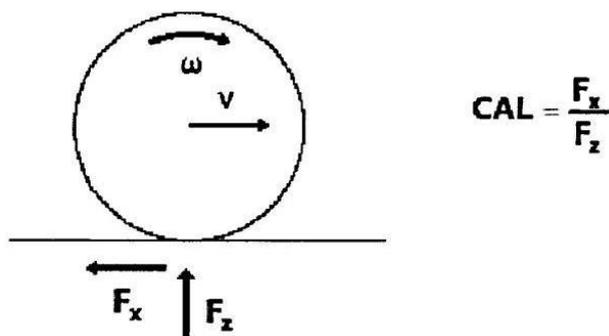


Figura 4.12 - Esquema de determinação do CAL (adaptado de Pinto, 2003)

A medição deste parâmetro é normalmente realizada com recurso a um equipamento denominado por *Grip Tester* (Figura 4.13), o qual consiste num atrelado equipado com três rodas, onde a roda central (roda de teste) é constituída por um pneumático normalizado, com superfície lisa, e que circula parcialmente bloqueado, em condições normalizadas de velocidade e espessura da película de água (LNEC, 2008b).



Figura 4.13 - Equipamento *Grip Tester* (Alves, 2007; Findlay-Irvine, 2007)

O ensaio consiste na medição das forças horizontal e vertical que actuam sobre o pneumático durante o procedimento, provocadas pelo bloqueio imprimido à roda de teste por uma correia de transmissão que liga o eixo principal do atrelado (com dois pneumáticos em cada extremo) ao eixo equipado com o pneumático de teste. Este bloqueio é garantido através de um sistema de rodas dentadas que obrigam a que a roda de teste circule a uma velocidade menor que as outras duas, simulando desta forma uma acção de travagem.

Este ensaio está normalizado pela BS 7941-2 e decorre com um bloqueio provocado na roda de teste na ordem dos 15%, quando o dispositivo circula a uma velocidade a rondar os 50 km/h e para um caudal de água de 11 litros/minuto aplicado na roda de teste. Os valores obtidos são registados numa unidade de processamento de dados incluída no *Grip Tester* (Pinto, 2003).

O CAT é normalmente avaliado com recurso a um equipamento denominado por SCRIM (*Sideways-force Coefficient Routine Investigation Machine*), apresentado na Figura 4.14, e que consiste num veículo pesado equipado com um pneumático de teste com uma pressão de 350 kPa, montado do lado direito (rodeira externa da via), e sobre o qual é aplicada uma carga vertical de 2 kN que se move verticalmente e de forma independente do veículo (CEDEX, 2006).

Além destas características, o veículo pesado poderá estar equipado com um laser que permite avaliar a textura do pavimento (determinando a ETD) e com um tanque de água com capacidade para 10.000 litros, necessário à execução do ensaio, o que lhe fornece grande autonomia para a realização deste (cerca de 300 km) (CEDEX, 2006).

O ensaio, normalizado pela BS 7941-1, decorre com o veículo em andamento (com uma velocidade constante de 50 km/h) e com a roda de teste em contacto com o pavimento, num ângulo de 20° em relação ao desenvolvimento longitudinal da via, sendo debitado permanentemente um determinado caudal de água¹⁶, que permita atingir uma altura de água de 0,5 mm e assim simular as condições de circulação mais gravosas.



Figura 4.14 - Equipamento SCRIM (à esq.) e esquema do seu funcionamento (à dir.) (adaptado de Alves, 2007)

Posicionando desta forma a roda de teste (Figura 4.14 e 4.15), formam-se na secção de contacto entre o pneumático e o pavimento, forças de atrito numa direcção normal ao plano de rotação da roda (N) e que permitem caracterizar o atrito transversal através da expressão 4.7.

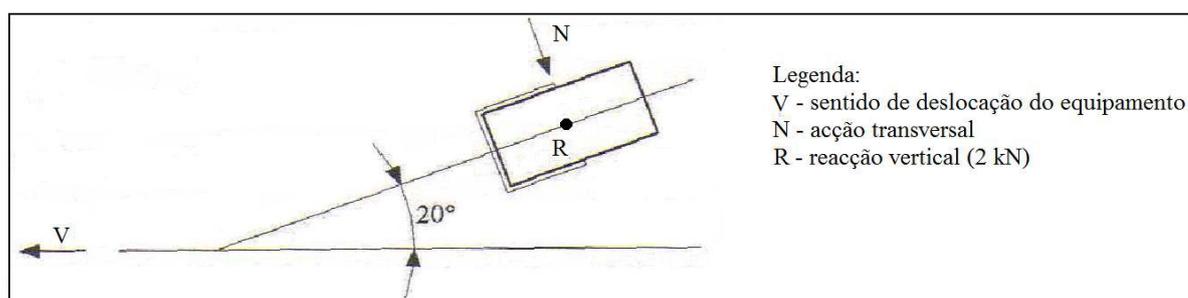


Figura 4.15 - Princípio da medida do atrito transversal com SCRIM (adaptado de Branco, et al., 2008)

$$\text{CAT} = \frac{N}{R} \quad (4.7)$$

¹⁶ Entre 0,5 ou 1 litro/s, dependendo da importância da via (InIR, 2011)

Os dados obtidos são processados em tempo real pelo sistema de aquisição de dados, ao qual o operador pode acrescentar informações que considere relevantes ou que possam influenciar os resultados da medição.

Este ensaio não será realizado sempre que se verifiquem situações de precipitação, superfície do pavimento molhada ou quando a temperatura do ar se registre inferior a 5 °C (InIR, 2011).

O CETO da EP refere que o coeficiente de atrito pode ser obtido através de um destes dois procedimentos, desde que o ensaio se realize a uma velocidade de 50 km/h e com uma película de água com uma altura de 0,5 mm, ao longo da rodeira externa de cada uma das vias construídas (EP, 2009d).

O mesmo documento da EP (EP, 2009d) admite a utilização de outros equipamentos, desde que o Adjudicatário apresente as correlações comprovadas dos resultados obtidos por esse dispositivo com os equipamentos SCRIM ou *Grip Tester*. Em casos excepcionais, esta avaliação poderá ser feita através da medição pontual do atrito, como já foi descrito atrás, a realizar com o pêndulo britânico e com aceitação prévia por parte da Fiscalização.

Os valores a cumprir, estipulados pela EP, para os ensaios com equipamento tipo SCRIM ou *Grip Tester*, apresentam-se no Quadro 4.8.

Quadro 4.8 - Valores para o coeficiente de atrito medido em contínuo (EP, 2009d)

Requisito	Equipamento	
	tipo SCRIM (BS 7941-1)	tipo GRIP TESTER (BS 7941-2)
Coefficiente de atrito (medido a 50 km/h)	≥ 0,50	≥ 0,60

Existem ainda duas equações que permitem correlacionar os valores obtidos pelos equipamentos SCRIM e *Grip Tester* (*GT*), ou seja, converter os dados obtidos num dos equipamentos e transformá-los em resultados do outro equipamento. Nas expressões seguintes (4.8 e 4.9) são apresentadas essas correlações, sendo a primeira proposta pelo LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et des Chaussées*) e a segunda pelo TRL (*Transport Research Laboratory*) (InIR, 2011; Alves, 2007).

$$\text{SCRIM} = 0,89 \times \text{GT} \quad (4.8)$$

$$\text{SCRIM} = 0,786 \times \text{GT} - 0,049 \quad (4.9)$$

Para o caso nacional, onde seja aplicado o CETO da EP, estas correlações não serão necessárias já que são fornecidos os valores admissíveis para o resultado de ambos os ensaios. Regista-se no entanto que o valor de 0,50 adoptado para equipamento do tipo SCRIM se encontra entre os valores obtidos pelas equações 4.7 e 4.8 ($0,423 < 0,5 < 0,534$), quando se fixa o valor do *Grip Tester* em 0,6, sendo a equação proposta pelo LCPC a mais conservadora (0,534).

Outro factor importante para a sua determinação relaciona-se com a data do ensaio. Antes da abertura ao tráfego a camada superficial apresenta um coeficiente de atrito inferior ao registado alguns meses após a circulação dos veículos. Tal facto deve-se à película de ligante que envolve o agregado na superfície da camada, logo após a sua execução e que só será removida posteriormente, e por desgaste, após a circulação de veículos. Na Figura 4.16 demonstra-se a evolução do coeficiente de atrito.

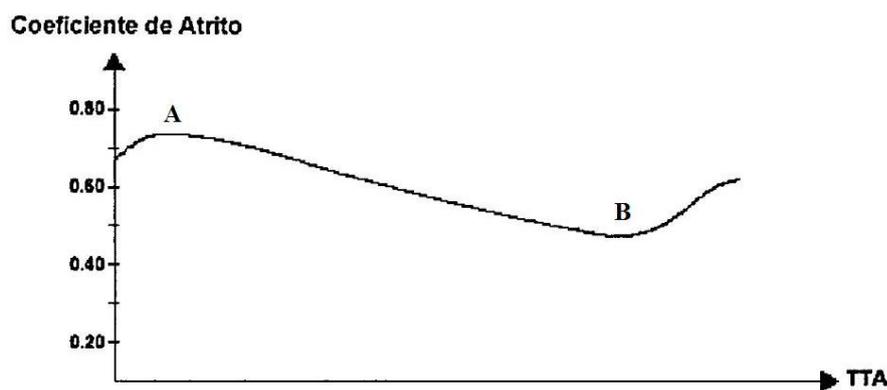


Figura 4.16 - Evolução do coeficiente de atrito em função do tráfego total acumulado (TTA) (Pinto, 2003)

O coeficiente de atrito registrará o seu valor máximo (A) após alguns meses de serviço (2 a 3), devido ao desgaste provocado pelos pneumáticos dos veículos sobre a película que envolve o agregado, à superfície, melhorando a sua macrotextura. Regista-se depois uma queda desse coeficiente que só voltará a subir quando se registarem degradações avançadas no pavimento, como pele de crocodilo, contribuindo para um novo aumento da macrotextura.

Um estudo conduzido pela PIARC (*Permanent International Association of Road Congress*), com o objectivo de harmonizar os parâmetros de caracterização dos pavimentos, promoveu o desenvolvimento de um Índice Internacional de Atrito (IFI), reconhecendo que o valor do atrito de um pavimento, além da microtextura, depende também da velocidade de ensaio (ou de circulação) e da macrotextura desse pavimento. Desde então, o atrito dum pavimento pode ser avaliado através da seguinte expressão (4.10) (PIARC, 1995):

$$IFI = F60 = A + B \times FRS \times e^{\left(\frac{S-60}{a+b \times Tx}\right)} + C \times Tx \quad (4.10)$$

onde,

IFI é o valor do Índice Internacional de Atrito, a 60km/h, ou F60;

A, B e C são as constantes determinadas para cada equipamento de medição do atrito;

FRS é o coeficiente de atrito do pavimento, obtido com determinado equipamento;

S é a velocidade de ensaio (km/h), tendo em conta o bloqueio da roda;

a, b são constantes dependentes do método utilizado para a medição da textura;

Tx é a textura medida ou altura de areia (mm).

Após a publicação deste estudo, em 1995, um outro iniciou-se na Europa, em 1998, com o objectivo de harmonizar a determinação da aderência neste continente, dada existência de vários equipamentos e de especificações distintas. Tendo em conta a abertura do mercado único europeu, esta harmonização torna-se essencial a fim de garantir características homogêneas de segurança nos diversos países (Pinto, 2003).

Deste estudo resultou o *European Friction Index* (EFI) que, partindo do estudo desenvolvido para o IFI, procurou minimizar o efeito da textura na variabilidade dos resultados do IFI através da escolha racional de uma velocidade de referência (passando agora para 30 km/h) e da eliminação da constante C (relacionada com o tipo de pneu de ensaio) utilizada na expressão do IFI. Assim, verificou-se uma redução dos erros sistemáticos associados ao valor do coeficiente de atrito obtido com diferentes equipamentos (Pinto, 2003).

Posto isto, a expressão proposta para definir o EFI apresenta-se na seguinte forma (expressão 4.11) (Pinto, 2003):

$$EFI = A + B \times FRS \times e^{\left(\frac{S-30}{43+70 \times ETD}\right)} \quad (4.11)$$

Onde ETD é obtido pela expressão 4.6, resultante da medição em contínuo da textura superficial do pavimento.

Capacidade Estrutural

Esta característica diz respeito ao comportamento estrutural do conjunto de camadas que constituem um pavimento, ou seja, desde a sua fundação até à camada de desgaste. Para a sua determinação recorre-se usualmente à aplicação de uma carga, dentro de condições específicas, que irá provocar uma deformação vertical na superfície (deflexão) do pavimento, definida como a resposta deste à acção da carga.

Pretende-se assim determinar a deformação elástica, ou reversível, do pavimento e avaliar se os valores apresentados estão de acordo com os dados de projecto e vida útil para o qual foi dimensionado.

Segundo Branco et al. (2008), a capacidade de carga de um pavimento está intimamente ligada com o seu valor económico. Esta relação baseia-se no facto de quando um pavimento não apresenta boas características estruturais está condenado à ocorrência de degradações mais precoces que o esperado, reduzindo assim a sua vida de serviço e imputando mais custos às autoridades responsáveis pela sua conservação, dentro do período para o qual foi dimensionado.

Como já se referiu, a avaliação deste parâmetro é realizada através da utilização de equipamentos que permitam a aplicação de uma carga no pavimento e consequente medição da sua deflexão. De entre vários equipamentos com estas características, destaca-se como o de uso mais generalizado o deflectómetro de impacto (FWD, do inglês *Falling Weight Deflectometer*).

O FWD está instalado num reboque traccionado por um veículo ligeiro, sendo que é neste último que se encontram os meios informáticos para a recepção e interpretação dos dados fornecidos pelos sensores.

Este equipamento (Figura 4.17) foi criado pelo LCPC (França), mas desenvolvido na Dinamarca, tornando-se num método de ensaio pontual, não destrutivo e capaz de avaliar as propriedades do pavimento, simulando as acções induzidas pelo tráfego (60 a 80 km/h) através da aplicação de uma carga dinâmica (TRL, 2011; Alves, 2007).



Figura 4.17 - Aspecto do equipamento FWD (COST 336, 2005; Dynatest, 2008)

É composto por um sistema mecânico que comporta um eixo vertical ao longo do qual se desloca a carga de ensaio. Na base do eixo vertical, encontra-se um conjunto de amortecedores que transmitem a

carga resultante da queda a uma placa que se encontra em contacto com o pavimento (Branco, et al., 2008).

O ensaio decorre com a queda dessa carga sobre os amortecedores e a placa, sendo que após o impacto, a deflexão é lida por um conjunto de sensores¹⁷ que estão em contacto com a superfície do pavimento, ao longo do desenvolvimento longitudinal do reboque e em distâncias pré-estabelecidas, como é visível na figura anterior.

Para pavimentos rodoviários, é normalmente utilizada uma placa com 300 mm de diâmetro, enquanto a quantidade e a posição dos sensores pode variar consoante os objectivos do ensaio e as características das camadas do pavimento, sendo comum adoptar um afastamento de 300 mm (ASTM, 2003).

A medição da temperatura da superfície do pavimento, é um procedimento fundamental para a correcta interpretação dos resultados, dado que quanto menor for este parâmetro, maior será a rigidez das camadas betuminosas e assim, menores serão as deflexões registadas. O CETO da EP (EP, 2009d) recomenda que sejam medidas as temperaturas do ar e das camadas betuminosas em intervalos não superiores a uma hora.

O mesmo documento (EP, 2009d) indica os requisitos para a execução dos ensaios do FWD e que entre os quais, se destacam os seguintes:

- A carga a utilizar deverá ser de 65 kN (representativa de um eixo padrão de 130 kN) e aplicada através de três impactes por cada ponto de ensaio;
- O diâmetro da placa de ensaio será de 300 mm e a posição dos geofones relativamente ao centro da área carregada será, em metros, a seguinte: 0 - 0,30 - 0,45 - 0,60 - 0,90 - 1,20 - 1,80 - 2,10. O afastamento dos geofones poderá variar, desde que devidamente fundamentado e sempre com geofones nas posições a 0 - 0,30 - 0,60 e 0,90 metros relativamente ao centro da carga;
- O ensaio será realizado na rodovia externa de cada uma das vias e com um afastamento de 100 ou 200 metros, consoante se esteja a avaliar a via mais solicitada ou as vias interiores, caso existam, respectivamente;
- O valor da temperatura das camadas betuminosas, medido a uma profundidade maior ou igual que 4 cm, deverá encontrar-se no intervalo entre os 0 e 30 °C.

Após a execução deste procedimento, as deformações obtidas nos vários sensores para cada ponto de ensaio, podem ser transformadas num gráfico que representa a bacia de deflexões desde esse ponto, como se apresenta na Figura 4.18.

A obtenção da rigidez dos componentes das camadas dos pavimentos pode resultar da forma da bacia de deflexões dado que diferentes partes deste gráfico são afectadas por diferentes camadas do pavimento. A deflexão central (d0, sob o ponto de aplicação da carga) dá uma indicação da rigidez geral do pavimento enquanto as medições dos sensores mais afastados (d6) revelam as condições da fundação (TRL, 2011).

¹⁷ São utilizados entre 7 a 9 sensores (ou transdutores) e podem ser de três tipos: sismómetros (leitura dos deslocamentos absolutos), geofones (leitura das velocidades) e acelerómetros (leitura das acelerações) (Alves, 2007).

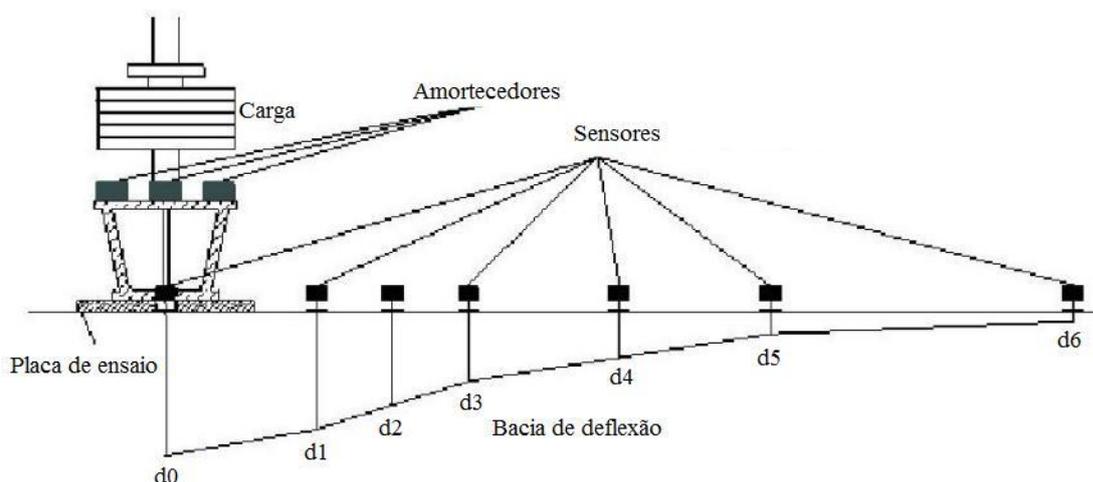


Figura 4.18 - Esquema de ensaio e bacia de deflexão (adaptado de *PaveMaintenance*, 2011)

A diferença entre a deflexão medida para dois pontos perto do local de queda da carga (0 e 0,90 m) está principalmente dependente da rigidez das camadas ligadas, no topo do pavimento. As deflexões e respectivas diferenças medidas entre os vários sensores são também úteis para revelar as variações nas condições das camadas, permitindo a separação em trechos homogêneos que apresentem comportamento idêntico, dando indicadores da localização de potenciais fraquezas estruturais (TRL, 2011).

O CETO da EP prevê que através do ensaio do FWD seja realizada uma análise comparativa dos resultados obtidos face aos pressupostos de projecto, avaliando-se a capacidade de carga do pavimento construído, definido em termos de vida restante. A vida restante do pavimento caracteriza-se como a vida útil além do período considerado para o dimensionamento¹⁸, sendo determinado um valor na fase de projecto (com os dados de dimensionamento) e outro em obra, após o ensaio do FWD.

4.5 Comparação dos Critérios e Valores de Aceitação

Neste subcapítulo serão abordados e discutidos os valores de aceitação das diversas especificações das camadas, assumidos pelas entidades em estudo, e as respectivas tolerâncias para a verificação dessa conformidade segundo os requisitos considerados, e consequente aceitação das camadas dos pavimentos rodoviários.

Os documentos utilizados para este estudo dizem respeito aos que vigoram actualmente em Portugal e noutros países como o Brasil, Espanha e Inglaterra. Apresentam-se no Quadro 4.9 os vários documentos considerados para este estudo, com referência à entidade que o publica e ao país de origem.

Interessa ressaltar que o documento actualmente em vigor para obras da Ascendi é idêntico ao anterior CETO da JAE e decidiu-se apenas referir ao longo deste estudo o nome deste último documento, evitando assim a repetição dos dados.

¹⁸ Usualmente, o período de dimensionamento para pavimentos flexíveis é de 20 anos.

Quadro 4.9 - Documentos em análise neste trabalho

País	Entidade	Documento
Portugal	Estradas de Portugal, S.A.	CETO da EP - rubrica 15.03 - (EP, 2009d)
Portugal	Junta Autónoma das Estradas/Ascendi	CETO da JAE - rubrica 15.03 - (JAE, 1998c)
Portugal	Brisa, S.A.	Cláusulas Técnicas Gerais (CTG) - (Brisa, 2006)
Brasil	Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (DNIT)	Especificações de Serviço - DNIT-ES - (DNIT, 2010a/b/c), (DNIT, 2006)
Espanha	<i>Ministerio de Fomento</i> (MF)	<i>Pliego de Prescripciones Técnicas Generales</i> (PG-3) - (Ministerio de Fomento, 2008)
Inglaterra	<i>Highways Agency</i> (HA)	<i>Manual of Contract Documents for Highway Works</i> (MCHW) - Vol. 1 (Highways Agency, 2009a) & Vol. 2 (Highways Agency, 2009b)

Com base nos critérios de aceitação e rejeição do CETO da EP para as diversas camadas que constituem um pavimento flexível, elaboraram-se quadros (Anexo A) para comparar os diferentes critérios, cruzando os critérios apresentados em todos os documentos supramencionados, para as seguintes soluções construtivas:

- Camada de Leito de Pavimento em Solo ou ABGE (Quadro A.1 - Anexo A);
- Camada de Sub-base em Solo (Quadro A.2 - Anexo A);
- Camada de Sub-base em ABGE (Quadro A.3 - Anexo A);
- Camada de Base em ABGE (Quadro A.4 - Anexo A);
- Camada de Base em Mistura Betuminosa a Quente (MBQ) (Quadro A.5 - Anexo A);
- Camada de Ligação/Regularização em MBQ (Quadro A.6 - Anexo A);
- Camada de Desgaste em MBQ (Quadro A.7 - Anexo A);
- Caracterização Final do Pavimento (CFP) (Quadro A.8 - Anexo A)

Os critérios para a camada de ligação foram agregados aos critérios da camada de regularização, isto porque são aplicados os mesmos critérios para ambas as camadas, com a excepção da avaliação da espessura da camada, que não é realizada para a camada de regularização, segundo o CETO da EP (EP, 2009d), dado que a sua espessura é variável ao longo da extensão longitudinal da camada.

Devido às diferenças de procedimentos e critérios de avaliação nos vários países, algumas das características sujeitas a avaliação pelo CETO da EP não são contempladas noutros documentos e por esse facto não foi possível realizar a sua comparação com o documento editado pela EP em 2009.

Relembra-se que este trabalho pretende apenas analisar os critérios de aceitação das camadas de pavimento terminadas, assumindo-se que os materiais que as compõem cumprem todos os requisitos para a sua utilização na construção das camadas.

Na avaliação das camadas não ligadas, foram incluídos critérios como “Superfície da camada” e “Teor em água”, que muito embora não tenham função de aceitação/rejeição de camadas, a sua avaliação é realizada e referida no documento.

Durante a análise realizada a todos os documentos e no conseqüente preenchimento dos quadros apresentados em anexo (Anexo A), adoptou-se, para as várias acções correctivas, um código de siglas que permitisse indicar qual o procedimento a seguir. Este código baseia-se na combinação da sigla da

palavra “Acção Correctiva” (A.C.) com um número entre 1 e 7, sendo que cada número representa uma acção diferente. Apresenta-se no Quadro 4.10 as várias siglas utilizadas para as acções correctivas.

A acção correctiva “[A.C.1]” é a mais gravosa de todas, visto que se aplica aos valores de tolerância mais afastados do valor necessário para obter a conformidade. É também a mais penalizadora para o Adjudicatário por ser a mais onerosa e demorada.

Em alguns casos, será possível corrigir uma não conformidade através de uma compensação na camada seguinte ([A.C.2]). Este procedimento, que é apenas aplicável a alguns requisitos de certas camadas, garante que a camada seguinte “aplicada em excesso” irá melhorar o comportamento global do pavimento, tendo em conta que a qualidade dos materiais melhora à medida que nos aproximamos da superfície.

Quadro 4.10 - Siglas utilizadas para identificar as acções correctivas

[A.C.n] - Acções Correctivas
[A.C.1] - Escarificar e refazer a camada (fresar e refazer no caso de Misturas Betuminosas)
[A.C.2] - Compensar na camada seguinte
[A.C.3] - Corrigir a camada
[A.C.4] - Escarificar para facilitar a secagem
[A.C.5] - Distribuição uniforme e rápida de água, aplicada em toda a largura da área a tratar
[A.C.6] - Ao critério da Fiscalização
[A.C.7] - Repetir o processo de compactação do lote até atingir condições requeridas

A correcção da camada, [A.C.3], aplica-se quando existe material em excesso, determinado pela avaliação da espessura, e refere-se a uma fresagem superficial para eliminar a espessura em excesso. Quando aplicada a camadas não ligadas, esta acção correctiva indica que a camada será escarificada e novamente nivelada, para que seja retirado o material em excesso, seguindo-se o procedimento de compactação. Também pode ser aplicada quando a falta de material é excessiva e não é permitida a compensação na camada seguinte.

Os procedimentos [A.C.4] e [A.C.5] dizem respeito a medidas a tomar quando o teor de água necessário à compactação da camada não se encontra aceitável, indicando situações em que esse parâmetro se encontra elevado ou reduzido, respectivamente.

A sexta acção correctiva ([A.C.6]) é referida em alguns dos documentos consultados, sendo que para que seja tomada uma decisão pela Fiscalização, haverá lugar a mais ensaios para que possa fundamentar a sua opção.

Finalmente, [A.C.7] é referida apenas nos documentos de Espanha, sendo que é uma solução que se resume à avaliação da compactação relativa da camada e é realizada após a primeira compactação, enquanto a mistura betuminosa se encontra no intervalo de temperatura admissível para compactação.

4.5.1 Camadas Não Ligadas

Como já se referiu anteriormente, no grupo das camadas não ligadas incluem-se o leito do pavimento em solo ou ABGE, a camada de sub-base (em solo e/ou ABGE) e a camada de base em ABGE. Apresentam-se a seguir os critérios para esta camada.

Relembra-se que de acordo com o CETO da EP, os critérios aqui apresentados como “Superfície da Camada” e “Teor de Água” não constituem requisitos para a aceitação da camada. No entanto, a verificação dessas condições é essencial para a conformidade dos requisitos com função de aceitação/rejeição da camada.

Superfície da Camada

a) Inclinação Transversal

Este requisito apenas é verificado para a camada de leito do pavimento. O CETO da EP e o CETO da JAE determinam que se cumpra uma inclinação transversal de 2,5% em recta e a inclinação variável em curva determinada em projecto. Neste requisito, o CETO da EP não apresenta alterações relativamente ao anterior CETO da JAE.

Nenhum dos restantes CETO em estudo refere qualquer critério em relação à inclinação transversal a cumprir. No entanto, admite-se que sejam cumpridos as inclinações de projecto próximas das definidas no CETO da EP.

b) Aspecto Visual

Este requisito é apresentado para camadas de sub-base compostas por solos e para camadas de sub-base e base compostas por ABGE.

Com ele, e para a generalidade dos documentos, pretende-se impor que através de uma inspecção visual a camada executada se apresente com uma superfície lisa, isenta de fendas, ondulações e material solto, após a passagem do compactador da camada.

Apenas o documento da Brisa apresenta uma acção correctiva, caso não se verifiquem as condições atrás citadas, sendo que nele se prevê que a camada seja escarificada e recompactada.

c) Irregularidades

Este parâmetro é avaliado em todas as camadas compostas por material não ligado, em avaliação neste trabalho, com recurso a uma régua de 3 metros.

Para o caso do leito de pavimento, única camada onde o CETO da EP estabelece condições para este requisito, a JAE e EP apresentam valores idênticos, não devendo as irregularidades ser superiores a 2 cm. A entidade espanhola é mais exigente, tomando como limite de verificação um valor de 15 mm.

O documento brasileiro, expressa que não se deve verificar uma flecha superior a 20%, para material em excesso, não se tolerando a falta deste. Esta condição do DNIT aplica-se não só à camada de leito de pavimento, assim como a todas as camadas não ligadas.

Para a situação das camadas de sub-base compostas por solos, apenas os documentos da JAE e do DNIT estabelecem condições, sendo no entanto idênticas às estabelecidas para o leito de pavimento.

Para as camadas de sub-base em ABGE, além dos dados da JAE e da DNIT que se apresentam também idênticos aos utilizados para a camada de leito de pavimento, o critério da Brisa é o que se apresenta mais exigente, admitindo irregularidades até 8 mm. Ao exceder-se este valor, as CTG da Brisa prevêem a escarificação da camada, considerando igualmente a possibilidade da Fiscalização decidir sobre a aceitação da camada nestas condições.

Finalmente, para camadas de base compostas por ABGE, a Brisa e o DNIT mantêm os critérios estabelecidos para a camada anterior. O CETO da JAE apresenta agora um critério mais rigoroso,

limitando as irregularidades longitudinais a 1 cm e as transversais a 1,5 cm, não superando no entanto a exigência das CTG da Brisa.

Ainda para a camada de base em ABGE, o MF estabelece que a irregularidade da camada deve ser verificada com a medição em contínuo do IRI. Os valores limite dependem da espessura total das camadas sobrejacentes. Com efeito, o método espanhol utilizado não permite uma comparação com os valores admitidos em Portugal, já que o primeiro mede em contínuo e a medição com régua de 3 metros é uma medição pontual.

Teor em Água

Para a camada de leito de pavimento, existe apenas referência à verificação deste critério para o documento do DNIT, em que estabelece que o valor medido não deve variar além de 2% em torno do valor óptimo determinado em laboratório. Este critério mantém-se para as restantes camadas não ligadas, segundo os documentos consultados daquela entidade brasileira.

No caso da camada de sub-base em solo, o CETO da EP estabelece a mesma tolerância que o DNIT (2%) em torno do teor óptimo de água. O CETO da JAE não estabelece um valor de tolerância, referindo no entanto que deve ser verificado este parâmetro.

Para a camada de sub-base em ABGE destaca-se o facto da Brisa referir como valor mínimo 4,5%, sem que seja apresentado um valor de tolerância. Ainda nesta camada, o CETO da EP já não especifica a tolerância em torno do teor de água.

Finalmente, para a camada de base em ABGE, mantêm-se as condições aplicadas para a camada de sub-base com o mesmo material (para as entidades EP, JAE, Brisa e DNIT), somando-se agora a condição apresentada pela entidade espanhola. Esta especifica uma tolerância de teor de água em função da classe de tráfego considerada em projecto.

As acções correctivas a tomar são idênticas para todas as camadas e para todas as entidades, recorrendo-se à rega da camada com água ou escarificação para secagem, caso o teor de água se encontre abaixo ou acima do valor de referência (além da tolerância considerada), respectivamente. Lembra-se que este não é um critério de rejeição da camada, mas apenas de verificação da sua condição para compactação.

Compactação Relativa

Para a camada de leito do pavimento, o CETO da EP aumentou a exigência neste requisito, subindo de 95% (CETO da JAE) para 97% a compactação relativa que a média de cada lote terá de alcançar. Acrescenta ainda que 90% dos valores individuais terão de se verificar maiores que 97% da compactação obtida em laboratório.

Ainda para esta camada, os documentos emitidos pela DNIT e HA referem que os valores medidos *in situ* terão de ser iguais ou maiores que os obtidos no estudo laboratorial. Para o caso espanhol, não são apresentados dados para este parâmetro.

As condições aplicadas às camadas de sub-base em solo são idênticas às aplicadas à camada de leito do pavimento, exceptuando-se duas situações: (i) O CETO da JAE determina que 95% dos valores individuais medidos sejam maiores que 95% da baridade seca obtida em laboratório, aumentando por isso a exigência em relação à camada de leito do pavimento; (ii) a HA não considera a camada de sub-base em solo, logo esta solução foi excluída desta comparação.

No caso da camada de sub-base em ABGE, as condições da EP mantêm-se idênticas às de sub-base em solo, assim como as da JAE e do DNIT. Os dados relativos às condições da Brisa indicam como limite uma baridade seca de 97%, aceitando até dois resultados individuais no máximo 10% superiores aos valores de referência, desde que a média se mantenha superior a 97% da baridade seca obtida em laboratório.

O caso britânico (HA) é distinto. Esta entidade assegura os níveis de compactação através da passagem de um determinado trem de compactação, com uma ordem e características pré-estabelecidas. Não é por isso possível comparar com qualquer outra entidade em estudo.

Finalmente, para as camadas de base em ABGE, o CETO da EP aumenta a percentagem exigida para a compactação relativa de cada lote, sendo esse valor agora de 98% e mantendo a condição de pelo menos 90% dos valores individuais serem maiores que 98% da baridade seca obtida em laboratório. O CETO da JAE acompanha esta subida e estabelece a compactação relativa nos 98% para 95% dos resultados individuais e portanto mais exigente que o CETO da EP.

A Brisa mantém um critério idêntico ao aplicado para a camada de sub-base em ABGE.

Quanto à entidade espanhola, apresenta duas condições para a verificação deste requisito. Primeiro distingue a compactação relativa de acordo com a classe de tráfego da estrada. Para as classes de tráfego com maior número de veículos (T00 até T2) exige uma compactação relativa não inferior a 100% do valor de laboratório, ao passo que para as restantes classes (T3 e T4), esse valor queda-se pelos 98%. Exige ainda a realização do ensaio de carga com placa.

Os parâmetros do DNIT mantêm-se idênticos aos apresentados para as camadas anteriores. A entidade britânica não considera a utilização de camadas de base não ligadas

A acção correctiva mais comum aplicada por estas entidades é a escarificação e reconstrução da camada, caso não sejam cumpridas as percentagens dos valores de referência.

Espessura da Camada

Para a camada de leito do pavimento, apenas o CETO da EP impõe que a média seja igual à espessura de projecto, tolerando-se uma diferença de 5% em relação à mesma.

Das restantes entidades em avaliação, só se dispõem de dados da JAE e do MF, sendo que ambos referem que a camada deve apresentar uma espessura constante, de acordo com a de projecto. O MF acrescenta que não serão aceites espessuras inferiores, sem no entanto indicar qual a acção correctiva.

Para a camada de sub-base em solo, o CETO da EP mantém a mesma condição e critérios. O CETO da JAE apresenta agora a condição de não serem aceites espessuras inferiores às de projecto, dando origem a acções correctivas. Ainda para a mesma camada, o DNIT aceita uma variação na espessura até 10% do valor de projecto. Este último é por isso, o mais flexível de entre as três entidades.

No caso das camadas de sub-base em ABGE, a EP, a JAE e o DNIT mantêm exactamente iguais as condições para a mesma camada composta por solo. Entra agora a condição apresentada pela Brisa, aceitando camadas com uma tolerância de até 1 cm, a mais ou a menos, em relação à espessura de projecto.

O documento britânico não apresenta critérios para este parâmetro. Este controlo é realizado através avaliação da cota da camada, já que de certa forma, estes dois parâmetros estão relacionados.

Por fim, para a solução com camadas de base compostas por ABGE, as entidades EP, JAE, Brisa e DNIT mantêm os critérios exactamente iguais, em relação à camada de sub-base. Introduce-se no entanto, o critério apresentado pela entidade espanhola (MF), que se revela menos flexível que a EP, dado que não admite que a espessura média seja diferente da apresentada em projecto, tolerando até duas amostras com valores inferiores em 10% da espessura de projecto.

Em caso de não conformidade, e dentro de determinado intervalo, é por vezes admitido a compensação da camada em avaliação na camada seguinte. Para os casos com valores médios mais afastados (inferiores a 85%) a escarificação é a acção correctiva mais comum.

Cota da Camada

Para a camada de leito do pavimento, a maior tolerância é dada pelo CETO da JAE, que admite diferenças até 5 cm em relação à cota de projecto. Para este requisito, o CETO da EP tornou-se mais rígido, sendo que diferenças superiores a 5 cm abaixo da cota de projecto ou qualquer diferença acima da mesma cota dão lugar à correcção da camada e recompactação. Para que não haja lugar a acções correctivas, a diferença de cota não se pode registar maior que 4 cm abaixo da cota de projecto.

As entidades estrangeiras (DNIT, MF e HA) aceitam que o valor médio medido seja inferior à cota de projecto até 3 cm. Quando se registar um valor superior também é admitida uma variação de 3 cm para o DNIT e MF. Já a HA não admite excesso de cota além dos 2 cm. Caso se registre não conformidade neste parâmetro, para esta camada, haverá lugar à correcção de cota, e consequente recompactação.

Quando comparados os critérios para a camada de sub-base em solo, com os mesmos para a camada de leito do pavimento, verifica-se uma diminuição da tolerância para a aceitação do critério, por parte do CETO da EP, reduzindo esse valor de 4 cm para 2,5 cm, relativamente à cota de projecto. Para valores de cota inferiores em mais de 3 cm da cota de projecto, ou superior em qualquer valor à mesma cota, há lugar à correcção da camada. O CETO da JAE mantém a mesma tolerância de 3 cm apresentada para o leito do pavimento

DNIT avalia este requisito pela verificação da espessura, partindo do princípio que a cota do leito do pavimento está conforme com o projecto, tanto para as camadas de sub-base como de base, independentemente do material que as compõe. As restantes entidades não utilizam esta solução.

Para a mesma camada de sub-base, mas composta por ABGE, o CETO da EP e o da JAE mantêm os critérios da camada composta por solo. A Brisa apresenta uma tolerância inferior à das entidades anteriores, não admitindo uma variação superior a 1,5 cm. No entanto esta variação estende-se para uma cota superior à de projecto, o que não acontece com a EP.

Por último, o critério para a aceitação da camada de base em ABGE, situa-se num máximo de 1,5 cm abaixo ou acima da cota de projecto, para todas as entidades, exceptuando-se o CETO da EP, que não admite que a cota média obtida seja superior à cota de projecto, revelando-se desta forma como o critério mais rigoroso.

4.5.2 Camadas em MBQ

Como já foi revelado no subcapítulo anterior (4.3) os requisitos para a aceitação de camadas compostas por misturas betuminosas a quente são em grande parte distintos dos outros para camadas não ligadas. Apresentam-se a seguir os vários requisitos e critérios considerados pelas várias entidades.

Para este tipo de camadas, o CETO da EP introduz a condição de aceitação de camada mediante uma penalização económica aplicada ao Adjudicatário, que se reflecte na redução do pagamento da camada.

Espessura da Camada

Relembra-se que o CETO da EP não avalia este requisito para a camada de regularização pelo facto de apresentarem uma espessura variável.

Para a camada de base, e para que não haja lugar a acções correctivas, o CETO da EP determina que a média das espessuras deva ser igual à de projecto, sem que mais de 2 provetes apresentem valores inferiores em mais de 10% em relação ao valor de projecto. Admite no entanto que a espessura seja compensada na camada seguinte se a média obtida for superior a 80% da espessura de projecto. Caso contrário, a camada será removida por fresagem e reaplicado material novo por conta do Adjudicatário.

Neste requisito, a Brisa coloca como única condição que se verifique uma espessura superior a 90% da de projecto para que haja lugar à aceitação do requisito. Caso contrário a camada será removida.

A JAE exige que 95% dos carotes apresentem uma espessura individual não inferior à definida em projecto, sendo que apenas 5% poderão ter uma variação de espessura até ± 2 cm.

A entidade espanhola apresenta um critério semelhante ao da EP, ao passo que a HA aceita a camada quando o valor médio varia até 1,5 cm, admitindo que 10% das medições possam atingir uma diferença de 2 cm em relação à espessura de projecto.

Finalmente, o DNIT admite uma variação de espessura até 5% em relação à de projecto, desde que se cumpra a condição apresentada em 4.3. Caso contrário a camada deve ser corrigida ou removida.

Para a camada de ligação, verifica-se a semelhança dos critérios admitidos pela EP e pela Brisa, sendo que ambos apenas admitem a aceitação da camada para valores médios de espessura superiores a 90% da espessura de projecto. No entanto, enquanto a Brisa aceita a camada quando, por exemplo, se obtém uma espessura média de 95%, a EP impõem a aplicação de uma penalização económica que irá reduzir o valor pago pela camada ao Adjudicatário.

O critério apresentado pela MF revela semelhanças com o da EP, exigindo que a média dos valores medidos seja igual à de projecto. Caso estes se verifiquem inferiores aos valores de projecto, mas acima de 90% desse valor, está prevista a aplicação de uma penalização económica de 10% do preço total da camada.

No caso do critério aplicado pela JAE, esta entidade exige que 95% das medições igualem o valor de projecto, admitindo que as restantes 5% possam variar em torno desse valor em 1 cm. No caso do DNIT, admite uma variação de 5% em torno do valor de projecto.

A HA não admite variações além de 0,6 cm, tanto acima como abaixo do valor de projecto, em mais do que 1 em cada 10 carotes extraídos (10%). Assim, considerando uma espessura comum de 10 cm para esta camada, não seriam admitidos valores além de 9,4 cm na média dos carotes. A relação espessura obra / espessura de projecto, seria de 94% para que a camada fosse aceite. Este valor revela-se dentro dos parâmetros apresentados pela JAE e DNIT.

A não conformidade deste requisito dá geralmente lugar à fresagem da camada aplicada, em toda a sua espessura, e reposição de uma nova.

Para a camada de desgaste, verifica-se uma redução da tolerância para a verificação da conformidade deste requisito.

O CETO da EP mantém a condição de obter uma espessura média igual à de projecto, a par agora do documento da Brisa, e do MF. A principal diferença entre estas três entidades revela-se no facto da EP admitir, mais uma vez, a aceitação da camada mediante uma penalização económica, caso a média das espessuras medidas seja superior a 92%. Nenhuma das outras duas entidades admite essa possibilidade, impondo apenas a remoção e reaplicação da camada de desgaste, caso se verifique a não conformidade do critério.

O documento do DNIT mantém-se com o mesmo critério que o aplicado na camada anterior. A JAE continua igualmente a exigir que se verifique uma espessura média superior a 95% da prevista no projecto, não admitindo no entanto que mais de 5% das medições excedam essa espessura além de 0,5 cm.

A entidade britânica mantém o mesmo critério que o aplicado na camada de ligação ($\pm 0,6$ cm) não admitindo agora qualquer medição além deste valor. O facto de manter o mesmo critério que o aplicado na camada anterior, que é usualmente uma camada mais espessa, implica uma redução da exigência, quando para as outras entidades se verificar o contrário.

Cabe ainda avaliar nesta secção do trabalho, os critérios admitidos para a verificação da espessura total das camadas betuminosas. Analisando os critérios que apenas algumas das entidades aplicam, como é o caso da EP, Brisa e HA.

Do lado da EP destaca-se mais uma vez a possibilidade de aceitação do requisito mediante a aplicação de uma penalização económica. Desta feita, quando se verificar que a espessura média final de todas as camadas de mistura betuminosa se encontra abaixo do preconizado em projecto, mas num valor superior ou igual a 95% desse valor de projecto, será deduzido ao pagamento do Adjudicatário uma quantia igual a 20% do custo da camada de desgaste.

A Brisa indica que a espessura total deve ser a preconizada em projecto e caso se verifique um valor inferior a esse, a Fiscalização poderá ordenar a aplicação de uma espessura adicional.

Finalmente, a HA apenas refere que as tolerâncias antes aceites para as camadas betuminosas não podem reduzir a espessura total das camadas betuminosas além de 1,5 cm, nem a de desgaste em mais de 0,5 cm.

Porosidade

Alguns dos documentos em estudo referem-se a esta característica através da compactação relativa da mistura betuminosa aplicada, sendo que apenas a EP e a HA avaliam directamente a porosidade.

Quando aplicada uma mistura do tipo AC32 é também avaliada a porosidade em detrimento da compactação relativa, dado que a granulometria desta mistura não permite a formulação pelo método Marshall.

O CETO da EP estabelece os intervalos de porosidade admissíveis em função do tipo de mistura aplicada e da camada a que se destinam, como se mostra no Quadro 4.2, sendo que para a maioria das misturas, os valores para a porosidade média do lote se situam entre os 3 e os 8%, o que equivale a obter uma baridade entre 92 e 97%, relativamente à baridade máxima teórica. O mesmo documento refere a aceitação da camada com valores além do limite máximo estabelecido, até 2%, mediante a

aplicação de uma penalização económica de 20%. Caso a média do lote exceda a tolerância referida ou se apresente abaixo do limite mínimo, haverá lugar à remoção da camada e aplicação de uma nova.

Este critério mantém-se para todas as camadas betuminosas, variando apenas nos valores admissíveis da porosidade média do lote em função da mistura utilizada e/ou da camada a que se refere.

O CETO da JAE refere que se deve verificar um grau de compactação de pelo menos 97% em relação à baridade obtida no estudo de formulação da mistura, em 95% dos provetes ensaiados. Não são apresentadas acções correctivas a executar caso se verifique a não conformidade do requisito.

A Brisa estabelece duas condições alternativas que permitem uma comparação com os dois documentos anteriores, isto é, estabelece que a baridade medida nos provetes extraídos deverá ser maior ou igual a 97% da baridade de projecto, ou alternativamente, maior ou igual a 92% da baridade máxima teórica (8% de porosidade), para as camadas de base e ligação/regularização. Para a camada de desgaste estipula valores de 98 e 96%, respectivamente.

Verifica-se assim, e tendo como base a relação entre os dois critérios apresentados pela Brisa, que os três documentos nacionais se assemelham em termos de valores mínimos estipulados para a aceitação deste requisito. No entanto as CTG da Brisa apresentam-se mais exigentes, dado que o não cumprimento dos critérios estabelecidos conduz à remoção e reaplicação de uma nova camada, ao passo que o CETO da EP aceita o requisito com valores médios até 2% além do valor médio máximo estabelecido, mediante a aplicação de uma penalização económica.

Quanto aos documentos das entidades estrangeiras, o DNIT refere a mesma condição para todas as camadas compostas por misturas betuminosas, devendo apresentar uma compactação relativa entre 97 e 101%. Quando não é possível a correcção da camada, esta deve ser removida e reaplicada.

O MF apresenta uma condição mais exigente que as CTG da Brisa, para camadas com espessura igual ou superior a 6 cm (usualmente para camadas de base e ligação/regularização), estabelecendo 98% como o valor médio mínimo de compactação relativa a registar. No entanto, para camadas mais delgadas (com espessura inferior a 6 cm) define como valor mínimo 97% da baridade de projecto. Tal como o CETO da EP, também aceita o requisito em causa para valores médios maiores ou iguais a 95% de compactação relativa, mediante a aplicação de uma penalização económica de 10% do custo da camada. Caso se verifique que um lote apresenta valores médios inferiores a 95%, haverá lugar à remoção da camada e reaplicação de uma nova.

De acordo com o documento da entidade britânica, este requisito é avaliado a cada 20 metros com recurso a um gamadensímetro. Os valores médios obtidos para 6 medições consecutivas da porosidade, não devem exceder os 7% admitidos para as camadas de base e ligação/regularização. As camadas de desgaste serão avaliadas igualmente com recurso ao gamadensímetro, sendo que a média de 6 medições consecutivas realizadas para a porosidade não deve exceder os 5,5%. A não conformidade deste requisito conduzirá à remoção da camada avaliada e reaplicação de uma nova, numa distância nunca inferior a 15 metros.

Controlo Topográfico

Para este parâmetro, o CETO da EP e o da JAE apresentam um critério idêntico para as três camadas em estudo, exigindo que não se verifiquem diferenças de cota superiores a 15 mm. A EP exige ainda que a largura das vias seja avaliada, a cada 12,5 m, não podendo ser medido um valor inferior ao de projecto. Nenhuma destas entidades apresenta acções correctivas para este parâmetro.

Para as camadas de base e de ligação/regularização, a Brisa exige que não se verifique uma diferença de cotas superior a 15 mm, caso contrário, a correcção deste parâmetro será realizada através da execução da camada seguinte. Caso se verifique a retenção de água, a camada será removida. Para a camada de desgaste, a tolerância admissível é de 10 mm. A largura da via também é verificada a cada 12,5 m, não sendo admitidos valores inferiores aos estabelecidos em projecto.

O DNIT apresenta o mesmo critério para todas as camadas, exigindo que seja verificado o alinhamento do eixo e dos bordos, não sendo tolerado diferenças além de 5 cm em relação ao estabelecido em projecto. Caso seja registado um valor além da tolerância, de acordo com as condições do DNIT, a camada será corrigida ou removida.

O MF estabelece que para as camadas de base a diferença de cota não supere os 15 mm além do estabelecido em projecto, e para as camadas de ligação/regularização e desgaste o valor fixa-se nos 10 mm. A largura também será comprovada, não sendo admitidos valores inferiores aos de projecto.

Finalmente, a HA define apenas, tal como o DNIT, a verificação dos perfis longitudinais, não sendo aceites variações além de 25 mm do estabelecido em projecto.

Em suma, os critérios mais exigentes para este parâmetro são os apresentados pela Brisa e pelo MF, dado que para a camada de desgaste reduzem a tolerância admissível, o que não acontece no caso da EP.

Regularidade Longitudinal e Transversal

Para este requisito, no que diz respeito à camada de base, o CETO da EP estabelece 8 mm como o valor máximo da irregularidade a ser medida, tanto transversal como longitudinalmente, com régua de 3 m. O CETO da JAE distingue os valores limite da irregularidade para as duas direcções, atribuindo um máximo de 8 mm no sentido longitudinal e de 10 mm para as irregularidades transversais.

O critério apresentado pela Brisa é bem mais exigente que o da EP, já que limita a irregularidade medida em ambas as direcções a 4 mm. Em caso de não conformidade deste critério, a Brisa aplica como acção correctiva a fresagem e remoção da camada, enquanto a EP admite a correcção através da execução da camada seguinte.

Para a camada de ligação/regularização, a EP e a Brisa mantêm os mesmos critérios aplicados à camada de base, enquanto se verifica uma mudança nos critérios da JAE, definindo agora como valor limite de irregularidade 0,5 e 0,8 mm, para a irregularidade longitudinal e transversal, respectivamente.

A HA, entidade britânica, utiliza a régua móvel para medir a regularidade longitudinal e transversal, não tolerando para esta última, valores superiores a 3 mm. A regularidade longitudinal é medida a cada 300 m, sendo estabelecido um número limite de irregularidades de 4 e 7 mm, de acordo com a categoria da via em construção. Este critério é o mais rígido para a regularidade transversal, entre todos os apresentados.

Finalmente, para a camada de desgaste, o critério da EP torna-se mais exigente, admitindo irregularidades até 4 mm, ao passo que o CETO da JAE tolera irregularidades até 3 mm em perfis longitudinais e 5 mm em perfis transversais. Verifica-se que o CETO da EP apresenta uma maior exigência para os perfis transversais e menor para os longitudinais, em relação ao CETO da JAE.

As CTG da Brisa estabelecem valores máximos de 3 mm, em ambas as direcções, e portanto apresentam, mais uma vez, uma maior exigência neste parâmetro.

Quanto aos documentos estrangeiros em estudo, o DNIT estabelece que as irregularidades não devem exceder os 5 mm, já a HA mantém o método utilizado na camada anterior, para as irregularidades longitudinais, e estabelece um limite de 3 mm para as irregularidades transversais, sendo por isso mais exigente que a EP, tal como acontece com a Brisa.

As acções correctivas variam consoante a entidade em causa. A EP estabelece que caberá ao Adjudicatário apresentar uma solução, podendo no entanto realizar a medição em contínuo, como previsto para a CFP e verificar através desse procedimento a conformidade do parâmetro. A Brisa e a HA requerem a fresagem e reaplicação da camada.

Verifica-se assim que todas as entidades tornaram os seus critérios mais rígidos para esta camada, quando comparados com os aplicados às camadas subjacentes, o que seria de esperar, já que a regularidade da superfície do pavimento é uma das suas características funcionais. No entanto o critério apresentado pela EP não é o mais exigente quando comparado com outras entidades nacionais ou estrangeiras, como o caso da Brisa ou da HA, respectivamente.

A medição deste critério é normalmente realizada com recurso a uma régua de 3 m, no entanto o CETO da EP refere que o Adjudicatário poderá optar pela verificação em contínuo da regularidade longitudinal, para camadas subjacentes à de desgaste, devendo então respeitar os critérios estabelecidos para essa medição.

O documento espanhol apenas considera a medição em contínuo deste parâmetro, apresentando valores limite do IRI mais exigentes que os apresentados pela EP, para qualquer camada.

Aderência entre Camadas

Esta característica é verificada a partir da execução da segunda camada betuminosa. Apenas o documento da EP e da Brisa revelam que não serão aceites camadas onde se verifique uma colagem deficiente entre camadas.

A não conformidade desta especificação só poderá ser corrigida com a remoção da última camada aplicada, procedendo-se posteriormente à reaplicação de uma rega de colagem e de mistura betuminosa.

Macrotextura

Esta característica é especialmente importante para a camada de desgaste, muito embora seja realizada uma inspecção visual na superfície das camadas subjacentes, antes da aplicação da seguinte, de forma a garantir que a mesma se apresenta com uma macrotextura homogénea, uniforme e isenta de segregações. Este procedimento é seguido pela EP, Brisa e MF.

Quanto à verificação deste requisito na camada de desgaste, recorre-se ao método volumétrico da mancha de areia, com o objectivo de aferir qual o valor que se irá obter aquando da medição em contínuo. No caso da EP, JAE, Brisa e MF, este é apenas um método para aferir qual o valor que se irá obter aquando da medição em contínuo.

Para um AC 14 *surf* (solução mais comum para a camada de desgaste) as várias entidades apresentam alturas de areia mínima diferentes. Regista-se a semelhança entre o critério da EP e MF, estabelecendo um valor de 0,7 mm, acima do referido nos documentos da JAE e da Brisa (0,6 mm).

No caso da DNIT e HA, não apresentam dados relativos à execução da medição em contínuo. Assim, assume-se que a medição realizada pontualmente é a que irá caracterizar a macrotextura final da camada de desgaste.

O DNIT revela que para que se verifique a conformidade da camada, esta terá de apresentar valores para o método da mancha de areia entre 0,6 e 1,2 mm.

A agência britânica, para o mesmo ensaio, admite valores entre 1 e 1,5 mm, dependendo da importância da estrada (velocidade de circulação) ou da solução construtiva adoptada.

Coefficiente de Atrito

Este requisito, nesta fase de avaliação, é determinado pelo método estático (pêndulo britânico) com o objectivo de adquirir uma aproximação dos valores que se irão obter na medição em contínuo, tal como na especificação anterior.

Das três entidades que apresentam valores para este ensaio, todas elas impõem valores mínimos diferentes. O CETO da JAE exige que o valor obtido neste ensaio seja maior ou igual que 55 BPN, já o CETO da EP sobe a exigência do requisito, estipulando como valor mínimo 60 BPN. Acrescenta-se que para estes CETO portugueses, este requisito não tem funções de aceitação/rejeição da camada.

Há ainda a condição definida pelo DNIT que indica como requisito a obtenção de um resultado maior ou igual que 55 BPN.

4.5.3 Caracterização Final do Pavimento

Este procedimento decorre após a execução de todas as camadas do pavimento e antes da entrega provisória da obra. Está dividido em quatro ensaios que a seguir se apresentam.

A entidade britânica não apresenta dados para a execução deste ensaio, e por esse facto não foi considerada para esta fase do estudo. O DNIT considera apenas o procedimento para a verificação do IRI e por esse facto será apenas esse o procedimento comparado.

Índice de Irregularidade Internacional - IRI

Sendo este procedimento realizado sobre a camada de desgaste, a EP exige que se verifiquem ao longo da extensão do lote e nas percentagens de 50%, 80% e 100%, valores de IRI inferiores ou iguais a 1,5, 2,0 e 3,0 m/km, respectivamente. O documento da JAE estipula os mesmos valores para percentagens de lote idênticas, não se registando por este facto, qualquer alteração no novo CETO da EP.

Ao contrário do CETO da JAE, o documento da EP prevê ainda a aceitação da camada mediante uma penalização económica (20% do custo da camada de desgaste, no lote ou fracção do lote não conforme), caso os valores obtidos excedam até 10% os estipulados no parágrafo anterior. Caso se verifiquem valores além dos 10% dos limites estipulados, a camada será removida.

Ambos os documentos da Brisa e do MF apresentam valores mais exigentes que os da EP e JAE. Para as mesmas percentagens de extensão de lote (50%, 80% e 100%), ambos exigem que se verifiquem valores não superiores a 1,5, 1,8 e 2,0 m/km.

Em caso de não conformidade, a Brisa prevê a fresagem e remoção da camada, para que haja lugar à aplicação de uma nova que verifique as condições estabelecidas, enquanto o MF prevê a correcção da camada nas fracções do lote onde se identificaram valores anómalos, desde que não excedam em mais de 10% os estabelecidos atrás como limite.

Há ainda a ter em conta o valor estipulado pelo DNIT para toda a extensão do lote, que se fixa em 2,7 m/km. Embora seja mais baixo que o apresentado pela EP e JAE, para 100% da extensão do lote, não se pode afirmar que seja mais exigente e que garanta melhores condições de conforto de circulação aos

utentes, dado que se se verificar esse valor constante ao longo da medição, o lote será aceite, ao passo que no caso português tal não aconteceria por não estar conforme com as percentagens 50% e 80%.

Para a situação espanhola, destaca-se um procedimento adoptado pela MF que prevê a melhoria nos pagamentos da camada final se forem verificadas determinados valores de IRI. Este tipo de incentivo será desenvolvido no capítulo seguinte.

Macrotextura Superficial

Os valores obtidos para este ensaio dependem em grande parte da solução construtiva adoptada e sujeita a análise, como se constata pelo Quadro 4.7 apresentado no subcapítulo anterior (4.4.3) para este procedimento.

A EP determina que para que este requisito seja aceite, a média obtida para cada lote não deve ser inferior aos valores estabelecidos no CETO e que apenas uma das medições pode apresentar valor inferior até 25% do estabelecido no mesmo documento. O lote será igualmente aceite se for verificado que a média do lote é superior ou igual a 90% do valor estabelecido, mas mediante a aplicação de uma penalização económica que incidirá sobre 20% do custo da camada avaliada do lote ou fracção não conforme. Se nenhuma destas duas condições se verificar, o lote não conforme será removido e será executada uma nova camada.

O CETO da JAE não estipula valores mínimos para este procedimento, indicando apenas que os valores medidos comparados com os obtidos no ensaio da mancha de areia, que servirão como referência.

O documento da Brisa refere que a medição da MPD será igualmente realizada com equipamentos munidos de laser e os valores médios obtidos serão comparados com os do ensaio da mancha de areia (realizado a cada 200 m), não podendo baixar além do estipulado para esse ensaio estático (0,6 mm)

O MF não refere a medição da macrotextura em contínuo, indicando apenas que antes da abertura ao tráfego será realizado o ensaio da mancha em 5 pontos aleatórios, no mínimo a cada 100 m, e a média obtida deverá ser maior que 0,7 mm, sem que em mais duma medição resulte um valor inferior em mais de 25% desse valor de referência (inferior a 0,525 mm). O requisito será igualmente aceite, mediante uma penalização de 10% sobre o valor da camada, se a média obtida for superior ou igual a 90% do valor de referência (resultará em 0,63 mm).

Considerando que a camada de desgaste é constituída por um betão betuminoso de uso corrente (AC 14 surf - BB), a EP estipula que o valor mínimo a cumprir seja de 0,63 mm, enquanto esse valor para o caso espanhol é o mínimo para a aceitação da camada mas mediante a aplicação da respectiva penalização económica. Posto isto, considera-se o critério espanhol mais exigente, não esquecendo o facto de que o valor é obtido pelo método estático, o que pode resultar em resultados que não representam esta característica do pavimento ao longo do lote.

Coefficiente de Atrito

Os quatro documentos que apresentam dados para este requisito consideram a utilização do equipamento SCRIM para a medição do coeficiente de atrito.

Tendo esse equipamento em conta, o CETO da EP estipula que o valor médio medido ao longo do lote seja superior ou igual a 0,50 e que não mais que uma medição (valor médio ao longo de 100 m) pode apresentar um valor menor que 0,45.

A EP prevê a aceitação do lote se o valor médio obtido respeitar as condições impostas ou, e mediante a dedução de 20% do valor unitário da camada, se apresentar um valor superior a 95% desse limite (corresponderá a 0,475). Caso tal não se verifique, o lote será removido e substituído por uma camada nova.

As CTG da Brisa indicam que o valor mínimo a respeitar para este procedimento será igualmente de 0,5, enquanto o CETO da JAE refere um valor mais baixo de 0,4 para o mesmo ensaio com equipamento SCRIM.

Finalmente, o MF impõe que se registem valores médios iguais ou superiores a 0,65, admitindo no entanto que até 5% dos valores possam descer até 0,6. Caso não seja verificada esta condição de aceitação, é tolerada e aceite uma média superior ou igual a 90% de 0,65 (0,585) mas tendo em conta a aplicação de uma penalização económica sobre 10% do custo da camada superficial aplicada no lote ou fracção não conforme.

Embora se constate imediatamente que o valor espanhol é superior aos restantes, é fundamental referir que o PG-3 prevê a realização deste ensaio dois (2) meses após a entrada em serviço do pavimento e não antes da entrega provisória, como ocorre com o CETO da EP.

De facto, um pavimento não traficado revela usualmente um coeficiente de atrito inferior ao que se regista algum tempo depois de estar em serviço, como já foi referido anteriormente. No entanto, a EP admite que o ensaio seja repetido 3 meses após a abertura ao tráfego se os valores apresentados aquando do ensaio anterior à entrega provisória se revelarem não conformes.

Capacidade Estrutural

Este requisito carece de dados para comparação, sendo que apenas foi possível obter os critérios adoptados pela EP.

Esta entidade estipula que o valor médio estimado para a vida restante no final de período de dimensionamento não seja inferior ao definido em projecto, sendo que a camada será rejeitada, removida e substituída por uma nova estrutura (camadas betuminosas) caso se verifique que esse valor médio é inferior ou igual a 90% do valor de projecto.

No entanto, o requisito será aceite mediante uma penalização económica se for verificado que o valor médio estimado para a vida restante é superior a 90% do estabelecido em projecto. Esta penalização económica resulta de 20% do produto entre o somatório dos valores unitários de cada camada betuminosa e a área do lote ou fracção não conforme.

O CETO da JAE também prevê a realização deste ensaio, sem que no entanto sejam apresentados critérios que possam avaliar este requisito.

4.6 Considerações Finais

Neste quarto capítulo pretendeu-se apresentar os métodos e critérios de avaliação das especificações estabelecidas nos vários documentos incluídos neste estudo.

Após a obtenção dos dados relativos aos critérios assumidos pelas várias entidades, foi possível construir as tabelas que se apresentam no Anexo A. Com estes dados, compararam-se os requisitos, tendo em conta os valores limite que cada entidade estabelece e as condições de ensaio de cada requisito.

Ao longo desta avaliação, foi possível desde logo identificar um aumento dos valores limite de cada especificação, à medida que era avaliada uma camada superior, em relação à anterior. Por exemplo, os valores assumidos para a camada de base composta por ABGE são mais exigentes que os valores limite para uma camada de sub-base, com o mesmo material, para um determinado requisito.

Os critérios utilizados no CETO da EP apontam para uma maior justiça no momento da avaliação das características, pelo simples facto de ser aplicada a separação de um trecho em vários lotes, o que permite a aceitação de troços conformes, enquanto no CETO da JAE e por ser avaliada toda a extensão dum trecho, os valores não conformes podem afectar e levar à rejeição de um requisito onde se verifique uma sequência de valores conformes.

Para as camadas não ligadas, verifica-se em geral um aumento dos valores limite dos critérios do novo CETO da EP em relação ao anterior publicado pela JAE, como ocorre nos casos dos critérios “Compactação Relativa”, “Espessura da Camada” e “Cota da Camada”. Enquanto no CETO da JAE eram admitidas cotas acima das especificadas em projecto, o novo CETO da EP rejeita de imediato essa situação, tendo como consequência a correcção da camada.

No caso das camadas compostas por misturas betuminosas a quente, destaca-se a introdução de penalizações económicas que permitem que uma camada que à partida seria rejeitada por não respeitar a condição de aceitação dum dado requisito, seja agora aceite mediante a redução do pagamento da camada por parte do Dono de Obra ao Adjudicatário.

No entanto, quando comparada com a outra entidade que aplica penalizações económicas (MF - Espanha), verifica-se que as aplicadas pela EP são mais gravosas para o Adjudicatário, já que implicam sempre uma penalização mínima de 20%, enquanto as outras deduzem apenas 10%, para a mesma especificação.

O DNIT, entidade com responsabilidade no Brasil, apresenta as mesmas condições e valores limite para todas as camadas betuminosas a quente, não fazendo distinção entre camada de base e camada de desgaste, o que se revela desadequado, tendo em conta que na generalidade dos documentos avaliados se verifica um aumento da exigência à medida que se avaliam as camadas mais superiores.

Verificou-se também que a HA mantém o mesmo critério de espessura para a camada de desgaste que o aplicado na camada de regularização/ligação ($\pm 0,6$ cm). Sendo comum que uma camada de desgaste seja menos espessa que a subjacente, este tipo de critério conduz a uma redução da exigência para a camada superior, dado esta ser mais delgada. Torna-se por isso importante manter a avaliação dum critério em termos de percentagem.

Ainda para a entidade britânica, e no requisito da macrotextura, verificou-se que são considerados valores mais altos para a MTD obtida pelo ensaio da mancha de areia. A diferença notória nestes valores poderá dever-se ao facto das soluções construtivas mais correntes consideradas por aquela entidade apresentarem uma macrotextura superior, como é o caso das misturas descontínuas e a incrustação de agregados duros (*chippings*).

Para os requisitos da Caracterização Final do Pavimento, à excepção da “Capacidade Estrutural”, os valores limite apresentados pela entidade espanhola são os mais exigentes de entre os aqui avaliados.

Numa avaliação global pode-se constatar que os critérios apresentados pela Brisa são tão ou mais exigentes que os apresentados pela EP, no CETO publicado em 2009, e que os apresentados no CETO

da JAE. No entanto, deve-se ter em conta que a separação por lotes poderá levar à aceitação de requisitos pelos critérios da EP e à rejeição segundo os critérios do CETO da JAE.

5 ANÁLISE DE PAGAMENTOS

5.1 Introdução

Neste capítulo será realizada uma análise às penalizações económicas apresentadas no CETO da EP (EP, 2009d), utilizadas aquando da verificação dos critérios de aceitação/rejeição da camada e da CFP, e que permitem a aceitação de um determinado requisito mediante a redução do pagamento ao Adjudicatário sempre que se verifique que o valor médio medido para esse requisito se apresenta dentro de um intervalo definido para a sua aplicação.

Estas penalizações económicas (PE) permitem ajustar o preço final de cada camada (P_{Final} - expressão 5.1) caso o trabalho realizado corresponda a um pavimento de qualidade inferior relativamente ao previsto, tendo em conta o seu preço de adjudicação ($P_{\text{Adjudicado}}$), e que por isso estará sujeito a acções de reabilitação mais cedo do que o previsto.

$$P_{\text{Final}} = P_{\text{Adjudicado}} - PE \quad (5.1)$$

Para fundamentar esta análise, compararam-se as expressões utilizadas pela EP com as penalizações estabelecidas por entidades com responsabilidade idêntica noutros países, como Espanha, Alemanha ou EUA.

Finalmente, foi também analisada a possibilidade de aplicação de incentivos económicos, mesmo tendo em conta que o CETO da EP não prevê tal acção. Este tipo de incentivo financeiro beneficia não só o Adjudicatário mas também a entidade Dono de Obra, visto que enquanto o primeiro recebe mais do que o previsto pela execução do seu trabalho, o segundo acaba por receber um produto de qualidade superior.

5.2 Penalizações Económicas

Neste subcapítulo serão discutidas as expressões apresentadas pela EP quando há lugar à aplicação de penalizações económicas para que uma dada camada composta por mistura betuminosa seja aceite.

Essas expressões serão comparadas com outras aplicadas noutros países, cujos CETO não foram contemplados neste estudo, dado que os abrangidos não apresentam fórmulas para esse ajuste, como é o caso espanhol em que é apresentada directamente a percentagem a deduzir no pagamento ao Adjudicatário, prescindindo da utilização de expressões.

5.2.1 Espessura da Camada

A expressão seguinte (5.2) é aplicada unicamente no requisito “Espessura da Camada” para as camadas de ligação e de desgaste, sempre que se verifique que a espessura média obtida para um determinado lote é inferior à preconizada em projecto.

No entanto, e para que o requisito seja aceite mediante a aplicação desta penalização económica, o valor médio da espessura dum determinado lote deve ser superior a 90% ou a 92% do especificado em projecto, caso se refira a camadas de ligação ou de desgaste, respectivamente (EP, 2009d).

$$PE1 = \left[P_{\text{unit}} - \left(P_{\text{unit}} \times \frac{e_{\text{real}}}{e_{\text{proj}}} \right) + (P_{\text{unit}} \times 0,20) \right] \times A \quad (5.2)$$

em que,

PE1 é o valor da penalização para a espessura da camada (€);

P_{unit} é o preço unitário da camada (€/m²);

e_{real} é a espessura medida em obra (m);

e_{proj} é a espessura preconizada em projecto (m);

A é a área do lote ou fracção do lote não conforme (m²).

A expressão apresentada (5.2) pode ser escrita de forma mais simples, pela expressão (5.3), como a seguir se apresenta:

$$PE1 = P_{\text{unit}} \times A \times \left[0,20 + \left(1 - \frac{e_{\text{real}}}{e_{\text{proj}}} \right) \right] \quad (5.3)$$

Verifica-se que a penalização aplicada tem em conta a relação entre a espessura medida em obra e a definida em projecto, o que permite à partida afirmar que o seu valor será tanto maior quanto maior for a diferença entre estas espessuras, para o intervalo de valores medidos em que pode ser aplicada.

Analisando qualquer uma das expressões (5.2 ou 5.3), e tendo em conta a condição de aplicação da penalização para este requisito, compreende-se que é aplicada uma penalização sempre superior a 20%, para ambas as camadas, podendo atingir percentagens de 30% para a camada de ligação e de 28% para a camada de desgaste, já que o critério definido no CETO da EP permite uma variação das espessuras médias de cada lote até 10 ou 8%, para a camada de ligação ou de desgaste, respectivamente, e que se reflecte no valor da penalização a aplicar.

Além da espessura individual de cada camada, o CETO da EP (EP, 2009d) estabelece que o valor médio da espessura total das camadas betuminosas em cada lote será igual à especificada em projecto, e que caso se verifique que essa espessura total é inferior à de projecto, até 95% desse valor, será aplicada uma penalização económica de 20% do preço unitário da camada de desgaste.

Se esta espessura total apresentar um valor inferior a 95% do estabelecido em projecto, o Adjudicatário terá de apresentar à Fiscalização uma proposta para a resolução desta não conformidade.

Para melhor compreender de que modo a alteração da espessura das camadas betuminosas afecta a vida útil do pavimento, realizou-se uma análise simplista para um pavimento tipo, baseado no procedimento de dimensionamento de pavimentos flexíveis apresentado pelo MACOPAV (JAE, 1995) e definidos como a seguir se apresenta:

- Admitiu-se uma classe de tráfego T3, à qual corresponde um TMDA_p entre 500 a 800 veículos. Foi considerado um eixo padrão de 130 kN, o que corresponde a um $N_{\text{dim}130}$ de aproximadamente $5,8 \times 10^6$, para pavimentos flexíveis, valor este que veio a ser adoptado;
- A estrutura do pavimento flexível considerou-se assente numa fundação do tipo F3 (E = 100MPa; $\nu = 0,35$), composta por uma sub-base granular de 20 cm (E = 200MPa; $\nu = 0,35$), seguida por camadas em mistura betuminosa do tipo AC 20, com um volume de betume de 10%, em camada de base com 12 cm e em camada de ligação com 7,0 cm. Para a camada de

desgaste considerou-se um AC 14 com 5,0 cm ($E = 4000\text{MPa}$ e $\nu = 0,35$, para todas as camadas betuminosas);

- Para a verificação da vida útil estimada do pavimento, variaram-se as espessuras das camadas de ligação (de 7,0 até 6,4 cm) e desgaste (de 5,0 até 4,7 cm), dentro dos intervalos admitidos pelo CETO da EP para a aplicação da penalização económica, tendo ainda sido considerada a verificação da espessura total das camadas betuminosas (*vide* Anexo A);
- Definiu-se como preço unitário das camadas de ligação e desgaste, respectivamente, os valores 8 e 5 €/m², resultando num custo de 28.000 € e 17.500 € para uma área de lote de 3.500 m², perfazendo um custo total para ambas as camadas de 45.500 €;
- Realizou-se o cálculo mecanicista com o *software* Alize, para os vários valores de espessura de ambas as camadas e tendo em conta as características já referidas;
- Para o cálculo da vida útil do pavimento à fadiga e deformação permanente, considerou-se o critério de dimensionamento da Shell, através das expressões (5.4) e (5.5), respectivamente (Branco, et al., 2008).

$$\varepsilon_t = (0,856 \times v_b + 1,08) \times E^{-0,36} \times N_{adm\ 130}^{-0,2} \quad (5.4)$$

$$\varepsilon_{dp} = K_s \times N_{adm\ 130}^{-0,25} \quad (5.5)$$

onde,

- ε_t é a extensão radial de tracção na base das camadas betuminosas, adimensional;
- v_b é o volume de betume em relação ao volume total, em %;
- E é o módulo de rigidez da mistura betuminosa, em Pa;
- $N_{adm\ 130}$ é o número de eixos padrão admissíveis com 130 kN (vida útil).
- ε_{dp} é a extensão vertical de compressão no topo do solo de fundação, adimensional;
- K_s é o parâmetro dependente da probabilidade de sobrevivência de um pavimento;

Admitiu-se para o parâmetro K_s uma probabilidade de sobrevivência do pavimento de 95%, à qual corresponde o valor de $1,8 \times 10^{-2}$.

Os dados considerados e os resultados obtidos apresentam-se no Quadro B.1 (Anexo B). Para a situação de projecto, a vida útil estimada após 20 anos de serviço é de aproximadamente 30% (cerca de 6 anos¹⁹), correspondendo a um dano aos 20 anos pouco superior a 70%. Desta forma, e de acordo com o MACOPAV (JAE, 1995), estamos na presença de um pavimento sobredimensionado (dano < 80%). No entanto, pretende-se que com esta simulação simples se averigüe apenas a perda relativa de vida e não a qualidade inicial do pavimento.

Analisando os valores calculados, constata-se que o facto de serem utilizados módulos de rigidez (E) idênticos e constantes para todas as misturas betuminosas torna o resultado apenas dependente da variação da espessura total de mistura betuminosa (Total MB) e não da rigidez com que cada camada contribui.

¹⁹ Considerando que cada ano corresponde a 5% de vida do pavimento, em 20 anos.

O critério de ruína que causa maior dano na estrutura é a deformação permanente, embora se verifique uma evolução ligeiramente mais rápida da fadiga, desde os valores admitidos para a situação de projecto até à situação mais gravosa.

Para o caso mais extremo avaliado nesta análise, com espessuras de 6,4 cm para a camada de ligação e de 4,7 cm para a camada de desgaste, obteve-se uma perda de vida útil de aproximadamente 15%, que corresponderá ao equivalente a uma perda de vida de cerca de 3 anos.

O passo seguinte deste estudo concentrou-se em avaliar a aplicação da penalização económica prevista no CETO da EP sobre todas as situações abrangidas nesta análise, nomeadamente para variações na camada de ligação, na camada de desgaste e na espessura total das camadas betuminosas. Os valores considerados e os resultados alcançados são apresentados no Quadro B.2 (Anexo B).

Tendo em conta que os módulos de rigidez das misturas são idênticos (4000 MPa), destaca-se um caso em que a perda de vida é igual para duas soluções, mas que conduz a penalizações distintas devido a factores como a relação entre as espessuras reais e de projecto e o custo da camada (€/m^2), sendo o caso mais flagrante quando a espessura total de mistura betuminosa se situa nos 23,7 cm. Esta situação corresponde a uma perda de vida superior a 4%, em relação ao valor de projecto, sendo no entanto aplicadas penalizações totais distintas (17,69 e 30,22%).

De um modo geral, constata-se que o valor da penalização aplicada é claramente superior à perda de vida útil do pavimento, para todos os casos da situação em estudo. No caso com maior défice de espessura, estimou-se uma penalização total na ordem dos 35% sobre o custo total das duas camadas (45.500 €), quando esta solução apresenta uma redução da vida útil em relação à vida estimada em projecto pouco superior a 15%.

Desta forma, e tendo em conta apenas o requisito da espessura, pode-se afirmar que a penalização aplicada é excessiva face à perda de vida útil que a redução de espessura implica.

Muito embora vários documentos estabeleçam valores limite idênticos para os critérios de aceitação, como é o caso das CTG da Brisa ou o PG-3 do MF (*vide* Anexo A), apenas o documento espanhol estabelece uma penalização económica, assumindo um valor constante de 10% sobre o custo da camada de ligação, e por isso independente da relação entre a espessura real e a de projecto.

O facto da expressão (5.2) utilizada pela EP incluir a relação entre as espessuras, garante uma maior justiça no momento de aplicar a penalização, visto que diferentes valores relativos de espessura corresponderão a comportamentos diferentes da estrutura da camada.

No entanto, a penalização mínima aplicada pela EP é claramente superior àquela aplicada pelo MF, já que poderá variar entre 20 e 30%, enquanto a aplicada pelo MF mantém-se constante nos 10%, para a camada de ligação.

Além do referido atrás, e quando avaliada de forma isolada, a espessura de uma camada não se revela como um requisito preponderante do desempenho e vida útil de uma camada para que se justifique uma penalização tão elevada, ao contrário de parâmetros como a compactação (porosidade) ou regularidade longitudinal (NCHRP, 2004).

5.2.2 Porosidade, IRI e Textura Superficial

A expressão (5.6) é aplicada em vários critérios, como é o caso da “Porosidade”, “IRI” e “Macrotextura Superficial”. Aplica-se nas camadas de base, ligação/regularização e desgaste, para o requisito da “Porosidade”, sendo que para os outros dois critérios apenas é aplicada na CFP.

$$PE2 = 0,20 \times P_{unit} \times A \quad (5.6)$$

em que,

PE2 é o valor da penalização para a porosidade, IRI e textura superficial (€);

P_{unit} é o preço unitário da camada (€/m²);

A é a área do lote ou fracção do lote não conforme (m²).

Como se verifica, esta expressão fixa a penalização em 20% sobre o custo unitário da camada, tendo em conta a área não conforme. Apresenta-se a seguir o modo como esta expressão afecta cada um dos requisitos.

Porosidade

No que diz respeito à porosidade, o CETO da EP estabelece esta expressão (5.6) para a dedução do pagamento da camada ao Adjudicatário nos casos em que a média da porosidade medida para um determinado lote exceda até 2% além do limite superior do intervalo estabelecido para uma dada mistura betuminosa (Quadro 4.2). Caso a compactação seja excessiva, provocará uma redução do volume de vazios além do desejado (estabelecido como limite inferior) o que conduzirá à remoção da camada.

Tendo em conta esse desvio admissível de 2% da porosidade média do lote, procurou-se comparar o critério deste documento português com outros aplicados noutros países, tendo em vista a análise da expressão aplicada para a penalização económica.

O critério utilizado pelo MF, em Espanha, recorre à avaliação da compactação através da relação entre a baridade medida em obra e a baridade Marshall (de projecto), a qual se denomina por compactação relativa. Também esta entidade tolera uma redução do valor médio até 2 ou 3% além do valor de mínimo de aceitação (consoante a espessura da camada), referindo que a camada será aceite caso a média da compactação relativa do lote se situe acima de 95% (*vide* Anexo A). Assume-se por isso, que este critério de aceitação mediante a aplicação de uma penalização é semelhante ao aplicado pela EP.

No entanto, o documento espanhol estipula que a percentagem a deduzir seja de 10% sobre o custo da camada não conforme, enquanto a EP estabelece 20% sobre a mesma quantidade, como se constata pela expressão (5.6), o que permite afirmar que a penalização aplicada pelo EP é demasiado severa para uma única camada.

De acordo com Sivapatham et al. (2009), as especificações alemãs exigem, tal como a especificação espanhola e a maioria das especificações, uma compactação relativa mínima de 97%, admitindo no entanto a aceitação da camada para valores inferiores.

Caso se verifique uma compactação média inferior à estipulada, as especificações alemãs determinam que a camada será aceite mediante a aplicação de uma penalização económica estabelecida pela expressão (5.7), que se apresenta a seguir (Sivapatham, et al., 2009):

$$PE_A = 3 \times \frac{p^2}{100} \times P_{unit} \times A \quad (5.7)$$

em que,

PE_A é o valor da penalização para a compactação relativa, aplicada na Alemanha (€);

p é a diferença entre a compactação relativa medida *in situ* e a mínima admitida para a aceitação da camada isenta de penalização (%)

P_{unit} é o preço unitário da camada (€/m²);

A é a área do lote ou fracção do lote não conforme (m²).

Refere-se que esta expressão apenas se aplica para situações em que a compactação relativa se situe abaixo de 97%, não sendo apresentado por Sivapatham et al. (2009), nem a camada a que se destina, nem um valor mínimo de aceitação mediante penalização económica. Tendo em conta os valores mínimos apresentados por outras entidades, presume-se que este valor estará entre 94 e 95%, fazendo com que “ p ” varie entre 0 e 3 (até 97%). Para valores abaixo de 94%, admite-se que a camada será removida e aplicada uma nova.

Tendo em conta esta última expressão, avaliou-se a evolução da mesma, com o objectivo de determinar a percentagem da penalização aplicada ao Adjudicatário para que seja possível comparar com a aplicada pela EP.

Assumiu-se uma variação da compactação relativa entre 97 e 94%, com intervalos de 0,5%. Definiu-se como preço unitário o valor de 6 €/m² e uma área não conforme de 3500 m². Foi então calculado o valor da penalização económica a aplicar, tendo em conta a expressão (5.7), e a sua percentagem em relação ao preço total da camada. Apresentam-se no Quadro 5.1 os valores calculados:

Quadro 5.1 - Evolução da penalização económica para o requisito “Compactação Relativa”, de acordo com as especificações alemãs.

Compactação relativa (%)	p (%)	P_{unit} (€/m ²)	A (m ²)	Preço da camada (€)	PE_A (€)	PE_A (%)
97,0	0,0	6,0	3500	21000	0,0	0,00
96,5	0,5				157,5	0,75
96,0	1,0				630,0	3,00
95,5	1,5				1417,5	6,75
95,0	2,0				2520,0	12,00
94,5	2,5				3937,5	18,75
94,0	3,0				5670,0	27,00

Verifica-se assim que ocorre uma variação do valor da penalização à medida que a compactação relativa se afasta dos 97%, o que se revela mais justo (tanto para o Adjudicatário como para o Dono de Obra) do que uma penalização fixa e independente da variação dentro do intervalo de tolerância admitido. Assim sendo, à medida que obtemos resultados mais afastados de 97%, mais onerosa será a penalização.

O intervalo de compactação relativa entre 97 e 95% apresentado no Quadro 5.1 corresponderá a um aumento de aproximadamente 2% na porosidade da camada, o que significaria um aumento da porosidade de 8 para 10%, numa mistura com porosidade ideal de 5%. Neste intervalo, a penalização alemã atinge um máximo de 12%, enquanto a da EP se mantém constante nos 20%.

No entanto, ao estabelecer um intervalo para a porosidade admissível dum determinado lote, há que ter em conta as reduções de vida útil provocadas pela variação da porosidade média medida nesse lote, sendo que o actual intervalo admitido para a aceitação com pagamento total, pela EP e restantes entidades aqui avaliadas, não contempla essa redução de qualidade.

A porosidade inicial de uma mistura é o factor que mais afecta a durabilidade do pavimento, tendo grande influência em propriedades como a sua resistência à fadiga e às deformações permanentes, assim como no envelhecimento da mistura ou no dano causado pela entrada de água nas camadas (Scherocman, 2000). Quanto maior a porosidade inicial, menor será a resistência do pavimento à fadiga e às deformações permanentes, e mais acelerado será o processo de oxidação e a indução de dano por acção da água.

Vários autores (Scherocman, 2000; Kandhal, et al., 2010; Vivar, et al., 2006; Harvey, et al., 1995; Brown, 1990) recomendam que a porosidade de uma mistura deve situar-se entre 3 e 8%, sendo que para valores inferiores a 3% há uma perda da estabilidade da mistura, tornando-a mais susceptível a deformações permanentes e a outras anomalias como exsudação. Quando a porosidade supera os 8%, o risco de desagregação é maior, as misturas apresentam um fraco desempenho estrutural (fadiga e deformação permanente, muito devido à redução do seu módulo de rigidez) e tornam-se mais permeáveis ao ar e à água, acelerando assim o processo de degradação.

De acordo com Scherocman (2000), um aumento de porosidade de 5% para 8% conduz a uma perda de cerca de metade da vida à fadiga estimada para um pavimento. Harvey et al. (1995) referem que uma variação de 5 para 6% no volume de vazios numa mistura, com 5% de betume, conduz a uma redução de cerca de 30% da sua vida à fadiga.

Segundo Azevedo (1993), o aumento da porosidade das misturas betuminosas reflecte-se na redução da sua capacidade de resistência à fadiga e às deformações permanentes, através da redução do módulo de rigidez das misturas. Os resultados obtidos no seu trabalho demonstram uma diminuição do módulo de rigidez em cerca de 20% para um aumento de 2% no volume de vazios (de 4 para 6%) numa mistura com um teor ponderal de betume de 4,9%.

As penalizações aqui apresentadas só se aplicam para porosidades usualmente superiores a 8%, ou seja, quando as misturas poderão vir a acumular anomalias além da perda de vida útil, como o caso de oxidação acelerada, maior permeabilidade à água ou desagregação severa, que conduzirão a uma degradação mais rápida.

Dada a relação da porosidade com o módulo de rigidez da mistura, e conseqüentemente com a vida do pavimento, realizou-se uma análise simplista para três pavimentos flexíveis tipo, de forma a quantificar a perda de vida induzida pelo aumento da porosidade até 2% além da desejada em formulação, mantendo-a dentro do intervalo de aceitação admitido pela EP para o pagamento total da camada.

Admitiram-se assim três classes de tráfego (T5, T3 e T1) às quais corresponde uma solução construtiva diferente, de acordo com o MACOPAV, e com a seguinte constituição:

- Classe T5 - Fundação F3 ($E = 100\text{MPa}$; $\nu = 0,35$) + sub-base granular com 20 cm ($E = 200\text{MPa}$; $\nu = 0,35$) + mistura betuminosa do tipo AC 20 (com um volume de betume de 10%) em camada de base com 14 cm ($E = 4000\text{MPa}$; $\nu = 0,35$) + AC 14 em camada de desgaste com 4 cm ($E = 4000\text{MPa}$; $\nu = 0,35$);
- Classe T3 - Fundação F3 ($E = 100\text{MPa}$; $\nu = 0,35$) + sub-base granular com 20 cm ($E = 200\text{MPa}$; $\nu = 0,35$) + mistura betuminosa do tipo AC 20 (com um volume de betume de 10%) em camada de base com 19 cm ($E = 4000\text{MPa}$; $\nu = 0,35$) + AC 14 em camada de desgaste com 5 cm ($E = 4000\text{MPa}$; $\nu = 0,35$);

- Classe T1 - Fundação F3 ($E = 100\text{MPa}$; $\nu = 0,35$) + sub-base granular com 20 cm ($E = 200\text{MPa}$; $\nu = 0,35$) + mistura betuminosa do tipo AC 20 (com um volume de betume de 10%) em camada de base com 22 cm ($E = 4000\text{MPa}$; $\nu = 0,35$) + AC 14 em camada de desgaste com 6 cm ($E = 4000\text{MPa}$; $\nu = 0,35$).

Mais uma vez, foi adoptado um eixo padrão de 130 kN, ao qual correspondem os valores acumulados de eixos padrão ($N_{\text{dim}130}$) de $1,2 \times 10^6$, $5,8 \times 10^6$ e $14,5 \times 10^6$, respectivamente para as classes de tráfego T5, T3 e T1.

Para avaliar a perda de vida útil das estruturas apresentadas, considerou-se uma redução de 10% do módulo de rigidez de cada camada para cada aumento de 1% da sua porosidade, verificada após o processo de compactação. O intervalo admitido nesta avaliação é de apenas 2% além da porosidade obtida na formulação das misturas, o que provocará uma redução de 20% do módulo de rigidez (até 3200 MPa). Esta evolução foi admitida de acordo com os resultados obtidos nalguma bibliografia consultada (Azevedo, 1993; Harvey, et al., 1995).

Para o cálculo da vida útil de cada situação, recorreu-se novamente ao *software* Alize para obter o valor das extensões na base das camadas betuminosas (verificação da fadiga) e no topo do solo de fundação (verificação da deformação permanente). Com estes valores, utilizaram-se as expressões (5.4 e 5.5) que seguem o critério de dimensionamento da Shell para obter o número de passagens admissíveis do eixo padrão ($N_{\text{adm}130}$) durante o período de serviço do pavimento, para os critérios de fadiga e deformação permanente, obtendo-se de seguida o dano previsto para o critério mais prejudicial.

Calculou-se a perda de vida relativa de cada situação com os valores admitidos como de projecto (sombreados a azul), e para traduzi-los em perda de vida em anos, admitiu-se que cada ano corresponderia a uma perda relativa de 5% ($1/20 = 0,05$).

Com este procedimento foi possível calcular, para cada classe de tráfego, as perdas de vida útil provocadas pela redução do módulo de rigidez, como consequência do aumento da porosidade.

Os valores considerados para o cálculo descrito e os resultados obtidos apresentam-se no Quadro B.3 (Anexo B). Lembra-se que esta avaliação corresponde a um aumento de porosidade das misturas betuminosas dentro do intervalo de aceitação com pagamento integral admitido no CETO da EP (EP, 2009d), dada a pequena variação admitida.

Verifica-se que as maiores perdas relativas de vida útil acontecem para a estrutura de pavimento admitida na classe de tráfego T1, onde a espessura total das camadas betuminosas é maior que a admitida nas restantes classes. Desta forma, constata-se que quanto maior for a espessura de uma camada betuminosa, maior é a sua importância no desempenho global da estrutura e que por isso maior é a influência da redução do módulo de rigidez.

Quando o aumento da porosidade se limita a 1% além do estabelecido em projecto para camadas de desgaste (e sem alterações na camada de base), as perdas relativas de vida útil são diminutas, excedendo acima dum ano apenas para a classe de tráfego T1, enquanto nas restantes classes de tráfego se reflectem em perdas inferiores a um ano.

Quando o aumento de 1% de porosidade se verifica na camada de base (e sem alterações na camada de desgaste), as perdas são maiores que as descritas anteriormente, variando entre 1 ano até pouco mais de 2 anos. Este facto reforça a importância da compactação e da verificação da porosidade em camadas com características essencialmente estruturais, como a camada de base.

Na situação mais grave, para a classe de tráfego T1 e onde se assume que ambas as camadas apresentam uma porosidade de 2% além da estabelecida em projecto (módulo de rigidez de 3200 MPa), registam-se perdas de vida útil bastante significativas, acima dos 8 anos.

A penalização actualmente em vigor para porosidades entre 8 e 10% revela-se desajustada pelo facto de incidir sobre um produto final de fraca qualidade e que certamente não cumprirá com as funções estruturais que lhe foram atribuídas aquando da execução do projecto, isto é, para estes valores de porosidade as perdas de vida útil serão já bastante significativas aliadas ao facto de permitirem uma maior entrada de ar e água, sujeitando o ligante a um processo de oxidação mais célere e a um maior contacto com a água, acelerando a degradação do pavimento.

Vivar et al. (2006) referem que o aumento da porosidade de 6 para 8% aumenta a permeabilidade da mistura em cerca de 7 vezes, sendo que após uma porosidade de 7% esta característica aumenta exponencialmente, o que provoca uma redução drástica do módulo de rigidez da mistura.

Torna-se portanto relevante que o intervalo actualmente admitido para a aceitação da camada sem penalização seja revisto pelo facto de permitir a aceitação de misturas que não desempenham correctamente a sua função.

O facto de a penalização não ser sensível à evolução da porosidade também a torna desajustada, dado que existe uma grande diferença de comportamento entre misturas com porosidades de 8% para outras com porosidades de 10%, quando o valor de projecto se situaria por exemplo nos 5%.

Tendo em conta que o CETO da JAE apenas admite a aceitação da camada com uma compactação relativa de 97% (o equivalente a cerca de 8% de porosidade, para um valor de formulação de 5%), o actual CETO da EP admite agora a aceitação das camadas com porosidades até 10%, embora com aplicação de penalizações económicas. Verifica-se portanto uma diminuição nas exigências do CETO da EP comparativamente ao da JAE, além da possibilidade da penalização actualmente em vigor não cobrir a perda de vida útil da camada.

Regularidade Longitudinal (IRI)

Outro dos requisitos de avaliação que poderá dar origem à aplicação de penalizações económicas através da expressão 5.6 é a regularidade longitudinal, medida em contínuo, e expresso pelo parâmetro IRI, aquando da Caracterização Final do Pavimento.

A importância de obter uma via com regularidade reflecte a preocupação com a vida útil do pavimento construído e os custos associados à sua manutenção e utilização. De facto, uma irregularidade longitudinal excessiva leva a um aumento dos custos para os seus utilizadores, na medida em que provoca maior desgaste nos seus veículos. No ponto de vista da entidade responsável pela manutenção da via, a irregularidade leva a que os veículos ressaltem mais ao longo do percurso, o que induzirá um aumento das cargas aplicadas sobre o pavimento (Franklin, 1997). Este aumento de cargas poderá provocar a degradação precoce do pavimento e obrigar a concessionária da via a acções de manutenção antes da data prevista.

Nesse sentido, alguns estudos foram desenvolvidos, entre eles o apresentado por Zaghoul (2007), com o objectivo de prever o desenvolvimento do IRI ao longo da vida útil do pavimento e determinar qual o valor aceitável para este parâmetro aquando da sua verificação após construção.

Na Figura 5.1 apresenta-se a evolução da irregularidade para diferentes valores de IRI iniciais, tendo em conta que o IRI inicial mais baixo é 0,5 m/km e comparando com outros IRI iniciais, com uma

diferença de 0,05 m/km, representado pelas várias linhas. A medição realizada ao longo dos vários anos permitiu a construção desse gráfico, fornecendo uma previsão da evolução do IRI para vias com uma velocidade de circulação superior a 100 km/h.

No seu estudo (Zaghloul, 2007), considerou-se que a necessidade de reabilitação das características funcionais surgiria para valores de IRI superiores a 1,8 m/km, para vias com uma velocidade de circulação superior a 100 km/h.

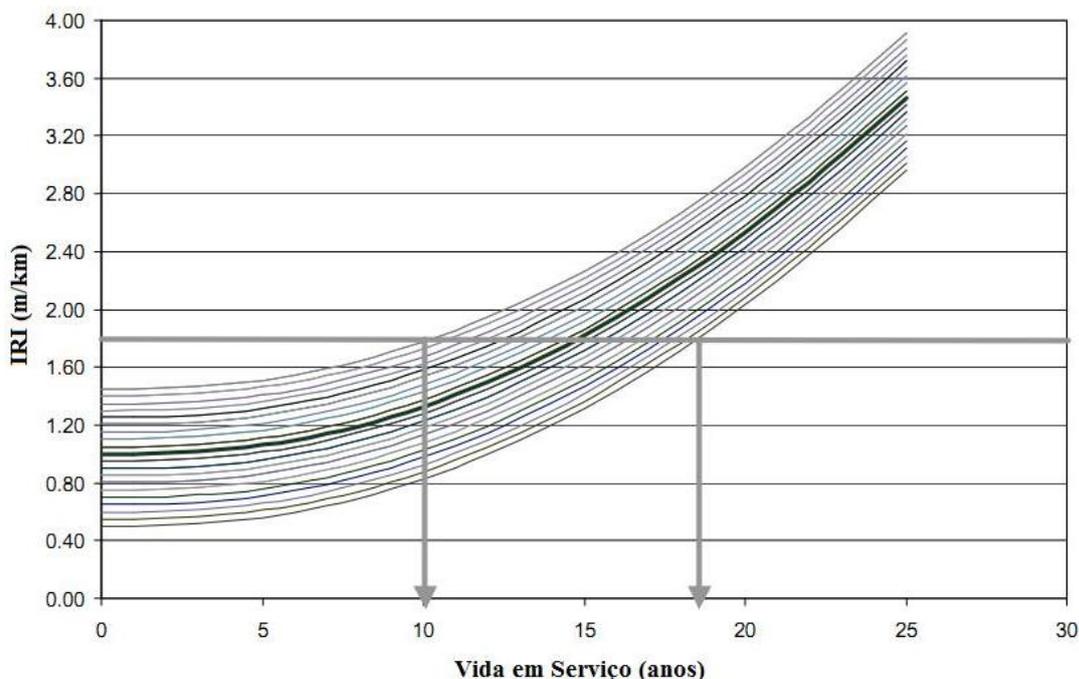


Figura 5.1 - Evolução do IRI ao longo da vida em serviço (adaptado de Zaghloul, 2007)

Tendo esse valor em consideração, as medições revelaram que para um IRI inicial de 1,45 m/km será expectável uma vida útil de 10 anos, assim como que para valores de iniciais de IRI de 0,5 m/km será expectável uma vida em serviço de 18 anos.

Os valores propostos por Zaghloul (2007), muito inferiores aos admitidos pela EP, assemelham-se aos critérios exigidos por vários departamentos de transportes dos EUA, como o caso dos departamentos dos estados do Connecticut, Maine, Montana, Dakota do Sul, Texas, Indiana ou Virginia, entre outros (Baus, et al., 2004; NCHRP, 2004).

De facto, estas entidades apresentam um critério muito mais exigente que o considerado pela EP, visto que o seu critério de aceitação para o pagamento integral da camada exige valores de IRI entre 0,7 e 1,2 m/km, aproximadamente, variando de estado para estado (Baus, et al., 2004).

A aplicação de penalizações económicas varia de estado para estado, não só devido às tolerâncias admitidas mas também devido às expressões utilizadas por cada entidade, para a obtenção desse valor.

De acordo com Baus et al. (2004), alguns estados admitem a utilização de penalizações de valor igual ou superior a 20% do preço da camada, para valores de IRI usualmente entre 1,0 e 1,5 m/km (mais exigentes que os 1,5 m/km estabelecidos pela EP), como se verifica na Figura 5.2.

No entanto, a tolerância admitida por estas entidades para a aceitação do requisito é muito superior à tolerada pela EP. Por exemplo, no caso do estado do Connecticut são admitidas penalizações para valores entre 1,26 e 2,37 m/km, admitindo-se assim variações de cerca de 88% dos valores de IRI

medidos. A EP apenas admite a aceitação deste requisito, mediante penalização económica, para valores que excedam até 10% os limites estabelecidos no critério.

De facto, os critérios apresentados pelas entidades norte-americanas apresentam-se muito exigentes, tendo em conta não só os critérios utilizados em Portugal, mas também os utilizados em Espanha, cujos critérios estabelecidos pelo MF se aproximam mais dos da EP, embora também eles mais exigentes.

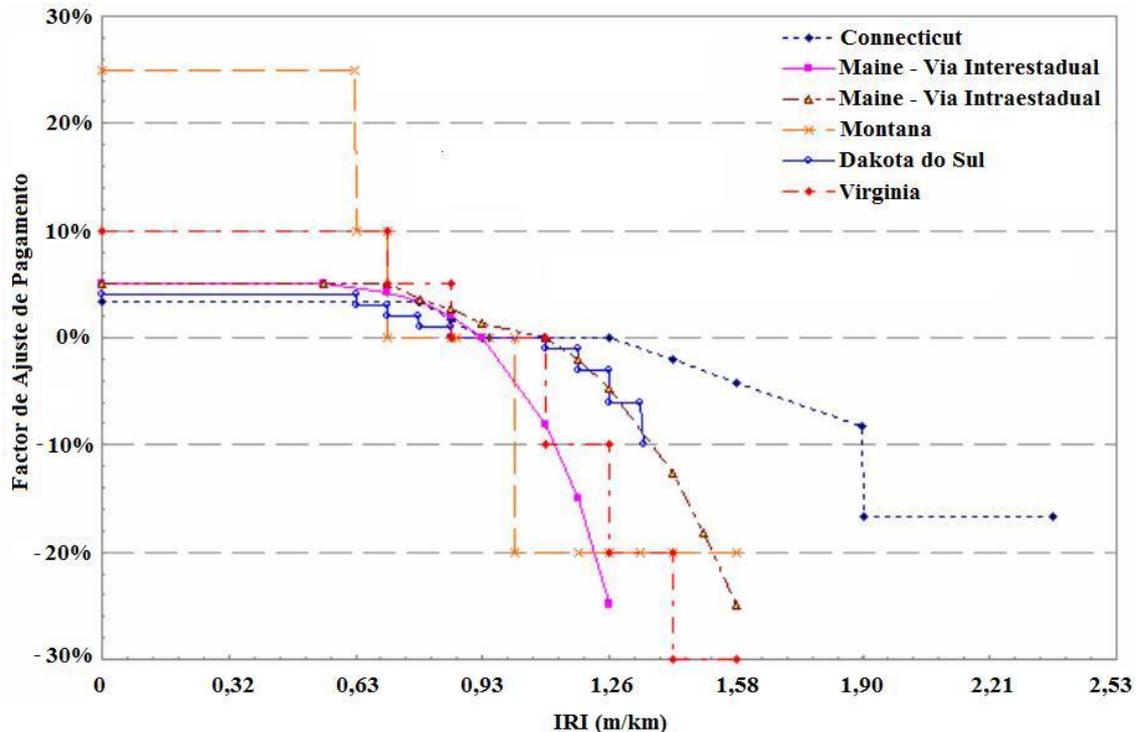


Figura 5.2 - Factores de ajuste de pagamentos em função do IRI inicial, nalguns estados norte-americanos (adaptado de Baus, et al., 2004)

Uma possível razão para a utilização de um critério tão exigente, será a preocupação em reduzir o desgaste provocado na via pelos ressaltos dos veículos quando circulam em vias mais irregulares, procurando-se assim aumentar a vida em serviço do pavimento e reduzir os custos dos departamentos de transporte em futuras reabilitações das características funcionais.

De facto, os valores admitidos pela EP encontram-se dentro do estabelecido pelo Banco Mundial aquando da criação do IRI (entre 1,5 e 3,5 m/km (Pavement Interactive, 2007)), visando fundamentalmente garantir o conforto dos utentes e minimizar o desgaste provocado nos seus veículos.

Já os critérios utilizados pela entidade espanhola para a camada de desgaste, estão mais próximos dos estabelecidos pela EP, embora se apresentem mais exigentes. No entanto, o MF não admite a aplicação de penalizações económicas caso se verifique a não conformidade deste critério, estabelecendo que a camada deve ser fresada ou removida.

Quanto à penalização aplicada pela EP, e tendo em conta as percentagens utilizadas nos EUA, poderá afirmar-se que 20% é um valor admissível tendo em conta a importância do IRI nas características funcionais do pavimento.

A utilização de incentivos económicos poderá proporcionar a obtenção de uma qualidade superior para este requisito e por tal facto será abordada no subcapítulo 5.3.

Textura Superficial

Finalmente, a textura superficial é outro dos critérios sujeitos à aplicação desta expressão (5.6), caso se verifiquem valores médios do lote aquém dos exigidos, até 10%.

O PG-3 estabelece condições semelhantes às do CETO da EP para a verificação deste critério (*vide* Anexo A), utilizando no entanto o método volumétrico da mancha e não a leitura em contínuo, com recurso a laser. Enquanto o CETO da EP estabelece uma penalização de 20%, o documento espanhol penaliza em 10% do valor da camada.

Embora não esteja sujeito à aplicação da expressão (5.6), também o coeficiente de atrito poderá ser aceite mediante uma penalização económica de 20% sobre o preço unitário da camada, e portanto idêntica à da macrotextura superficial. Desta forma, verifica-se a possibilidade de penalizar duplamente o Adjudicatário por duas características funcionais que estão relacionadas.

O atrito de um pavimento não depende apenas da macrotextura determinada, mas também da microtextura, o que torna difícil relacionar o valor da macrotextura com o atrito da superfície. No entanto, sabendo que essa relação existe, poderá ser excessivo penalizar em ambas as características dado que uma macrotextura reduzida poderá levar a valores de coeficiente de atrito também reduzidos.

Desta forma, a verificação da macrotextura e do coeficiente de atrito poderá ser realizada com recurso ao IFI, calculado pela expressão (4.10), onde ambas as características são tidas em conta, desde que sejam estabelecidos valores limite de aceitação para esse critério.

A seguir, e tendo em conta os critérios de aceitação e procedimentos actualmente em vigor no CETO da EP, sugerem-se valores limite para a definição do critério do IFI.

Com o objectivo de obter as constantes apresentadas na expressão (4.10), recorreu-se à norma ASTM E 1960 (ASTM, 1998) e admitiu-se a utilização dos procedimentos considerados no CETO da EP, como o ensaio da mancha de areia para a determinação da macrotextura e o ensaio do *Grip Tester* para a determinação do coeficiente de atrito. Assim, obtiveram-se os valores apresentados no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 - Valores das constantes para o cálculo do IFI (adaptado de ASTM, 1998)

Coeficiente de Atrito (<i>Grip Tester</i>)				Textura (M. Areia)	
A	B	C	S	a	b
0,082	0,910	0	9,4	-11,6	113,6

Refere-se que, caso sejam utilizados outros procedimentos como a utilização do equipamento SCRIM para a verificação do atrito, os valores destas constantes serão diferentes dos apresentados.

Com os valores considerados no Quadro 5.2, avaliou-se a evolução do IFI tendo em conta a expressão 4.10 e os valores admitidos como critério de aceitação para a macrotextura superficial e para o coeficiente de atrito, através da utilização do ensaio do *Grip Tester* e da mancha de areia.

O valor da profundidade média de textura (MTD) varia consoante o tipo de mistura enquanto o valor do critério para o *Grip Tester* é independente do tipo de mistura, sendo definido no CETO da EP (EP, 2009d) um valor mínimo de aceitação para o *Grip Tester* de 0,6 (GN = 0,6).

Considerando constante o valor do *Grip Tester*, variou-se o valor da textura medida para obter os valores mínimos de IFI a definir como critério de aceitação. Na Figura 5.3 apresenta-se essa evolução.

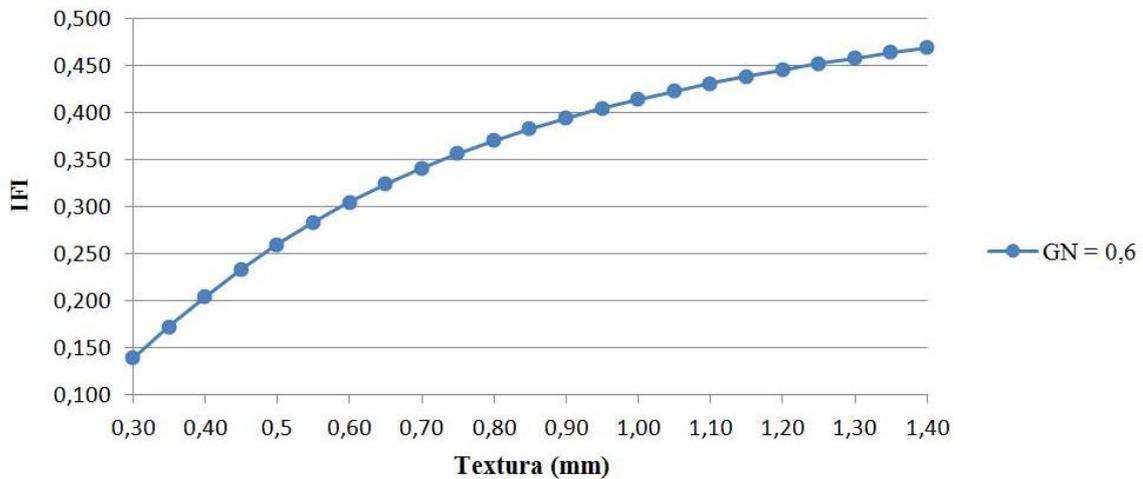


Figura 5.3 - Evolução do IFI em função da textura e do *Grip Number* (GN)

Assim, os valores de MTD considerados no CETO da EP para as várias misturas seriam apresentados em função de IFI, como se apresenta no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 - Critério a utilizar no IFI para as várias misturas

Requisito	Tipo de Mistura					
	AC 10 surf (mBBr)	AC 14 surf (BBr)	AC 14 surf (BB)	PA 12,5 (BBd)	MBR-BBA MBR-BBM	MBA-BBA MBA-BBM
IFI	≥ 0,414	≥ 0,414	≥ 0,341	≥ 0,446	≥ 0,414	≥ 0,431

Estes valores são obtidos tendo em conta o actual critério e os ensaios já referidos, e para que sejam válidos, deve-se manter os mesmos critérios e ensaios actualmente em vigor, sendo que se apresentam como um meio para determinar o valor do IFI.

O pagamento da camada seria realizado seguindo os valores apresentados para o IFI, dependendo do tipo de mistura utilizada na camada de desgaste do pavimento. Desta forma evitar-se-ia a possibilidade de penalizar duplamente o Adjudicatário por duas características relacionadas.

No entanto, um estudo realizado nos EUA (Roa, 2008) reavaliou os coeficientes apresentados pela PIARC, alertando para o facto de não serem obtidos resultados satisfatórios, sendo necessária uma maior investigação para a determinação das constantes associadas a cada equipamento..

Um outro parâmetro que poderá afectar a macrotextura medida na superfície de uma camada é a densidade da mistura, isto é, em situações em que ocorram zonas de segregação severa, a macrotextura medida nessa zona será maior que a medida nas restantes zonas onde não se registre este tipo de anomalia, afectando dessa forma a densidade e porosidade da camada.

Num estudo realizado por McGhee et al. (2003), comprova-se esta relação entre a densidade da camada e o valor de macrotextura que apresenta, devido à segregação dos agregados da mistura. Na Figura 5.4 apresenta-se uma avaliação feita no âmbito deste estudo.

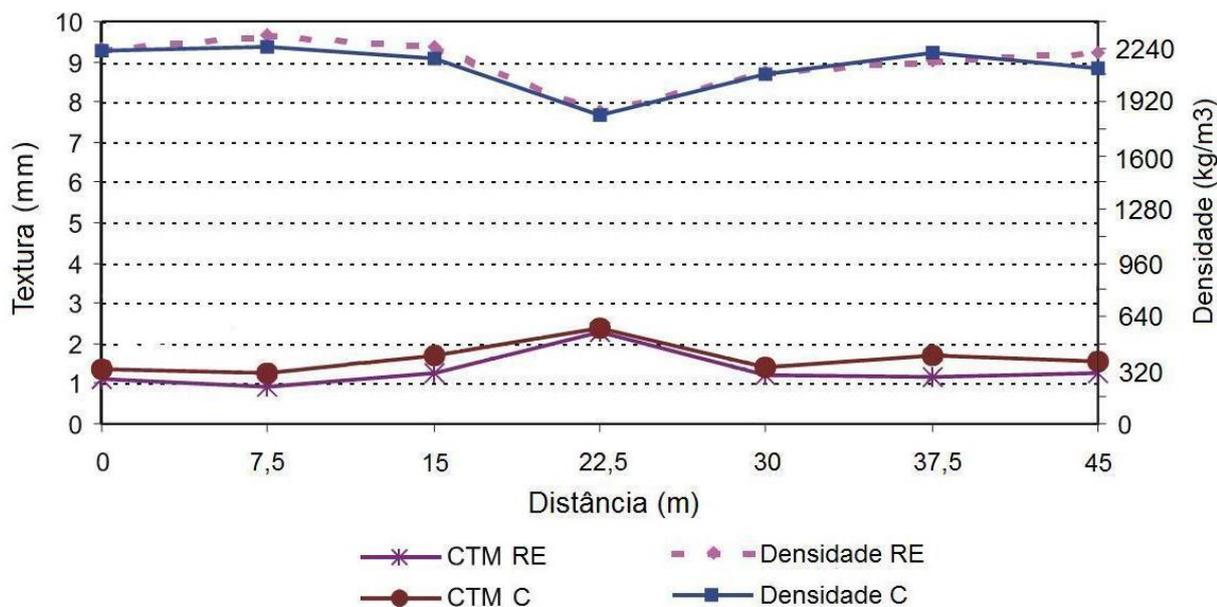


Figura 5.4 - Relação entre a macrotextura e a densidade de uma camada (adaptado de McGhee, et al., 2003)

No gráfico apresentado, CTM (*Circular Track Texture Meter*) refere-se a um equipamento que permite obter valores de textura semelhante ao procedimento da mancha de areia. Na Figura 5.5 apresenta-se uma imagem deste equipamento.

A densidade foi medida recorrendo a um gamadensímetro, e as siglas RE e C dizem respeito à avaliação efectuada na rodeira esquerda da via e no centro da via, respectivamente.

Verifica-se que um aumento de cerca de 50% da macrotextura da superfície, conduz a uma perda de cerca de 20% de densidade, devido à segregação do material. Este cenário permite compreender que elevados valores de macrotextura não são desejados, pelo facto de poderem ter origem na segregação da mistura.



Figura 5.5 - Equipamento CTM (McGhee, et al., 2003)

Ora, admitindo-se a relação entre a macrotextura e o coeficiente de atrito medido, poderá correr-se o risco de penalizar duas vezes o Adjudicatário por duas características relacionadas, o que seria excessivo e injusto. Desta forma, sugere-se que o critério a utilizar se baseie no IFI, embora seja necessário um estudo mais aprofundado para a determinação dos coeficientes a utilizar para a obtenção deste índice.

Conclui-se também que valores elevados de macrotextura podem identificar zonas de ocorrência de segregação da mistura, e por este facto devem ser analisadas as razões que conduzem a valores tão elevados.

5.2.3 Capacidade Estrutural

Finalmente, a expressão (5.8) é aplicada apenas no critério “Capacidade Estrutural” aquando da aceitação desse requisito na CFP.

$$PE3 = 0,20 \times P_{unit} \times A \quad (5.8)$$

em que,

PE3 é o valor da penalização (€);

P_{unit} é o somatório do preço unitário das camadas betuminosas (€/m²);

A é a área do lote ou fracção do lote não conforme (m²).

Esta expressão difere da anterior (5.6) pelo facto da penalização aplicada incidir sobre a soma do custo de todas as camadas betuminosas aplicadas no respectivo trecho homogéneo não conforme, já que todas elas deverão cumprir uma função estrutural que não está a ser correctamente desempenhada.

A reflexão desenvolvida nos subcapítulos 5.2.1 e 5.2.2 (Porosidade) permite afirmar que a capacidade estrutural de um pavimento depende da espessura das camadas e principalmente do nível de compactação, ou porosidade, que se consegue atingir em cada camada.

Desta forma, a avaliação da capacidade estrutural nos moldes apresentados pela EP pode conduzir a um pagamento desajustado pelo facto de existir a possibilidade de penalizar duplamente o Adjudicatário, primeiro na verificação do critério de porosidade e posteriormente na avaliação da capacidade estrutural, aquando da CFP.

5.3 Incentivos Económicos

Este tipo de ajuste de pagamentos não é considerado no CETO da EP, no entanto será aqui abordado pelo facto de se julgar interessante a sua aplicação como forma de incentivar o Adjudicatário a realizar um trabalho de qualidade superior.

De facto, há mais de vinte anos que este tipo de incentivo é aplicado nos EUA e os estudos que têm sido desenvolvidos desde então têm mostrado clara vantagem na sua aplicação, pelo facto de reduzirem os custos de manutenção dos departamentos de transportes dos respectivos estados em trabalhos de reabilitação do pavimento, dado que um pavimento de qualidade superior apresenta uma maior vida em serviço e portanto as degradações a que está sujeito aparecem mais tarde.

Neste subcapítulo serão abordados apenas os incentivos económicos referentes aos requisitos “Compactação da Camada” e “Regularidade Longitudinal”.

5.3.1 Compactação da Camada

Este requisito apresenta-se como um dos mais importantes, se não mesmo o mais importante, na garantia de qualidade e durabilidade do trabalho executado. Desta forma, entende-se necessário a análise de alguns dados disponíveis relativamente à melhoria de pagamento que este requisito permite obter.

Para eliminar dúvidas quanto às vantagens da aplicação dos incentivos económicos, Scholl (1991) conduziu um estudo requisitado pela *Oregon State Highway Division* (OSHD) após esta entidade verificar um aumento de 1,7% nos custos das suas obras novas, decorrentes da introdução deste ajuste de pagamento. Nas suas conclusões o autor refere que estes incentivos permitiram, em média, melhorias de 1,1% na compactação relativa das camadas avaliadas, o que conduz a um aumento da sua vida em serviço em cerca de 16%. Desta forma conclui que o aumento dos custos iniciais prolonga a vida da camada, o que permite adiar as primeiras datas de reabilitação da camada, e portanto torna-se num sistema mais vantajoso para a entidade.

Para que seja considerada a aplicação do incentivo económico, devem ser estabelecidos valores limite de aceitação para este requisito, tendo em conta uma relação entre os valores definidos na formulação da mistura e os obtidos na medição em obra, sejam eles relativos à porosidade ou à compactação relativa da camada.

De acordo com Cross et al. (2006), alguns departamentos de transportes dos EUA limitam a bonificação neste requisito (como o caso do Texas, Colorado ou Kansas, em 3%, 5% ou 6% do custo da camada, respectivamente), admitindo para tal valores médios medidos que se insiram num intervalo até 1% em torno do “valor alvo”²⁰ admitido para a porosidade.

No que diz respeito à penalização económica aplicada pelos mesmos departamentos, estas podem atingir valores entre os 10 e 50% sobre o custo da camada, dependendo da qualidade final do requisito e tendo em conta o intervalo de tolerância correspondente (Cross, et al., 2006).

Neste sentido, propõe-se um novo critério de pagamento para o requisito referente à compactação da camada, tendo em conta o referido no subcapítulo 5.2.2 (Porosidade) e as seguintes condições:

- Visto que o CETO da EP (EP, 2009d) se refere à compactação das camadas através da avaliação da porosidade das amostras, será também admitida essa verificação, no entanto através da avaliação da compactação relativa à baridade máxima teórica (CBMT), cuja diferença entre o valor medido e 100% indica o valor da porosidade da mistura;
- O intervalo de valores admissíveis para a CBMT que permite a aceitação da camada foi alterado, passando agora a ser possível a aceitação da camada apenas num intervalo entre 92 e 97% da CBMT (8 a 3% de porosidade), sendo que valores médios fora desse intervalo conduzirão à rejeição do trabalho executado;
- Admitiu-se um “valor alvo” para a porosidade de 5%, o que corresponde a uma CBMT de 95%, sendo atribuído incentivo máximo quando se atinge esse valor;
- Os incentivos económicos considerados atingem um máximo de 5%, decrescendo gradualmente até 0% num intervalo de $\pm 1\%$ em torno desse “valor alvo”;
- As penalizações económicas continuam em vigor, sendo que agora serão aplicadas quando a CBMT seja inferior à de projecto num intervalo de valores entre 93 e 92%, iniciando em 0% até 20% do custo unitário da camada;

²⁰ Designa-se por “valor alvo” o valor obtido para a porosidade no ensaio de formulação da mistura e considerado como ideal.

Na Figura 5.6 apresenta-se um gráfico que inclui as condições atrás apresentadas, para uma mistura betuminosa com um “valor alvo” de porosidade de 5%. Nele são consideradas quatro situações possíveis de avaliação da camada, das quais três permitem a aceitação da camada para este requisito.

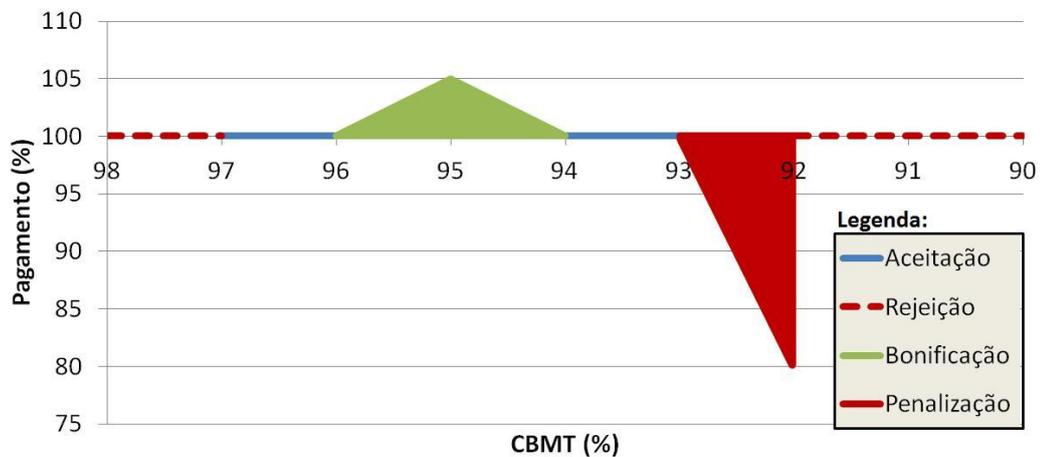


Figura 5.6 - Proposta para pagamento da camada para o requisito Compactação/Porosidade

A aplicação de incentivos económicos ocorrerá para valores de CBMT que se incluam num intervalo de $\pm 1\%$ em torno do “valor alvo”, e poderá ser calculado pela expressão 5.9. Por outro lado, sempre que se verificarem valores de porosidade entre 7 e 8%, haverá lugar à aplicação duma penalização económica calculada pela expressão 5.10.

$$IE = 0,05 \times (1 - |CBMT_{proj} - CBMT_{real}|) P_{unit} \times A \quad (5.9)$$

$$PE = 0,20 \times (93 - CBMT_{real}) P_{unit} \times A \quad (5.10)$$

onde,

IE é o valor do incentivo (€);

PE é o valor da penalização para a porosidade (€);

$CBMT_{proj}$ é a CBMT obtida em projecto para uma dada mistura (%);

$CBMT_{real}$ é a CBMT média obtida em obra para uma dada mistura (%);

P_{unit} é o preço unitário da camada betuminosa (€/m²);

A é a área do lote ou fracção do lote não conforme (m²).

Para valores de CBMT entre 96 e 97% assim como para aqueles que se encontrem entre 93 e 94%, não haverá lugar ao ajuste de pagamentos, sendo a camada paga pelo valor contratado.

Esta proposta apenas se enquadra num cenário para as condições descritas, sendo que para que este critério se estenda a todas as misturas betuminosas, pode admitir-se a flutuação do intervalo de bonificação de acordo com o “valor alvo” considerado para a porosidade após o processo de formulação, numa gama de valores de CBMT entre as admitidas pela EP para as diferentes misturas, como apresentado no Quadro 4.2. Os limites do intervalo de penalização teriam de ser igualmente ajustados.

Admite-se que sejam mantidas as dimensões de ambos os intervalos quando aplicados a outras misturas ou diferentes valores de CBMT de projecto.

Crê-se que com a aplicação destes incentivos, embora diminutos, proporciona-se uma motivação extra ao Adjudicatário para atingir o “valor alvo” da porosidade, recompensando proporcionalmente esse esforço.

5.3.2 Índice de Irregularidade Internacional (IRI)

Como já foi citado atrás, no subcapítulo 5.2.2, a qualidade funcional final que a superfície dum pavimento apresenta, no que à sua regularidade longitudinal diz respeito, reduz o desgaste provocado nos veículos que nele circulam e melhora a sua vida útil, o que permite uma poupança nos custos de manutenção das mesmas qualidades funcionais da via.

Desta forma, o PG-3 (Ministerio de Fomento, 2008), documento editado pelo MF e avaliado neste trabalho, prevê uma bonificação no pagamento da camada caso se verifiquem melhorias significativas relativamente aos valores do IRI inicialmente estabelecidos como critério.

Assim, se os resultados da regularidade longitudinal medida na camada de desgaste, ao longo de pelo menos 2 km, em trechos homogéneos e contínuos, melhorarem os estabelecidos como critérios de aceitação e cumprirem com os apresentados no Quadro 5.4, haverá lugar a uma bonificação do pagamento referente à mistura betuminosa aplicada, através dum acréscimo de 5% sobre o custo da camada medida em toneladas, ou metros quadrados (Ministerio de Fomento, 2008).

Quadro 5.4 - Critério do MF para valores de IRI (m/km) máximos a admitir nos incentivos económicos para o pagamento final da camada (adaptado de Ministerio de Fomento, 2008)

Porcentagem em km	Tipo de via	
	Auto-estradas e vias rápidas	Restantes vias
50	< 1,0	< 1,0
80	< 1,2	< 1,5
100	< 1,5	< 2,0

Para valores de IRI entre 1,0 e 1,5 m/km, verifica-se que a vida em serviço é aumentada significativamente (Figura 5.1), prevenindo-se que as características funcionais se mantenham durante 10 a 15 anos, o que adia significativamente a data de reabilitação.

Admitindo que um pavimento é projectado para vinte anos, ao distribuir o seu custo final por cada ano em serviço, obtém-se um valor de 5% por ano ($1/20 = 0,05$). Tendo em conta que a melhoria do IRI estabelecida como critério pela entidade espanhola resulta num prolongamento das características funcionais em pelo menos dois anos²¹, o pagamento de 5% permite uma situação benéfica para ambas as entidades, Dono de Obra e Adjudicatário. O primeiro porque vê os seus custos de manutenção reduzidos em pelo menos um ano (tendo em conta que o outro diz respeito aos 5% do incentivo pago) e o segundo porque obtém retorno pelo seu esforço em executar um produto final de qualidade superior.

Voltando à Figura 5.2, verifica-se que a maioria das entidades norte-americanas referidas nesse gráfico apresenta a aplicação de bónus entre 3 e 5%, para valores de IRI superiores aos estabelecidos como critério de aceitação para pagamento integral da camada. Estas percentagens reforçam o valor

²¹ Em Portugal, as características funcionais são reabilitadas após 8 a 12 anos de serviço do pavimento.

apresentado pela entidade espanhola como um valor justo a entregar ao Adjudicatário pelo seu bom trabalho.

5.4 Considerações Finais

Neste quinto capítulo procurou-se analisar as três expressões apresentadas no CETO da EP para o ajuste de pagamentos, realizado aquando da verificação dos requisitos das camadas e na CFP, de forma a penalizar o Adjudicatário pelo não cumprimento dos critérios apresentados para determinados requisitos finais. Estas penalizações económicas têm em vista o ajuste do pagamento da camada de acordo com a redução estimada na sua vida útil e qualidade final.

Por outro lado, foram também avaliados os incentivos utilizados por outras entidades para quando se verifica a execução de uma camada com determinadas características superiores aos critérios exigidos e que por isso sugerem que o pavimento construído apresenta uma qualidade superior, o que resultará numa vida em serviço além da prevista inicialmente.

Este tipo de incentivo não é actualmente utilizado pela EP, no entanto os dados apresentados em estudos internacionais e a sua introdução em especificações de outros países sugerem que daí decorre uma melhoria substancial na qualidade final do pavimento, e portanto, a introdução de tal incentivo numa futura actualização do CETO da EP deve ser considerada.

Segundo Zaghoul (2007), quanto maior forem as penalizações e os bónus oferecidos, maior será a motivação do Adjudicatário para construir uma camada de melhor qualidade. A somar a isso, um questionário conduzido pela divisão de estradas do estado do Oregon (Scholl, 1991), nos EUA, revela que a introdução de ajustes de pagamentos através da penalização e bonificação pelo trabalho executado veio melhorar a relação e cooperação entre Dono de Obra/Fiscalização e Adjudicatário.

Actualmente, e quando comparadas com as utilizadas pelo MF, as penalizações aplicadas pela EP apresentam-se mais onerosas, sendo que a entidade espanhola mantém as suas penalizações nos 10% ao passo que a EP penaliza à partida com 20%, podendo atingir 30% para o caso do requisito “Espessura da Camada”.

No caso da expressão (5.2) utilizada para o requisito “Espessura da Camada”, verifica-se que a utilização de uma relação entre a espessura medida em obra e a de projecto permite a evolução da penalização consoante o afastamento do valor de projecto, o que torna a penalização mais justa. No entanto, a percentagem máxima de redução do pagamento aproxima-se dos 30% nas situações mais graves, para a camada de ligação, e dada a menor importância deste parâmetro para a definição da qualidade final da camada (quando comparado com a porosidade), não se justifica tal severidade na penalização tendo em conta que o mesmo requisito espanhol fixa uma penalização de 10%.

No que diz respeito à segunda expressão (5.6) apresentada no CETO da EP para o critério “Porosidade”, ao qual outras entidades se referem como “Compactação Relativa”, verifica-se que para critérios de aceitação idênticos, a entidade portuguesa aplica penalizações mais severas que as entidades espanhola e alemã, para um intervalo semelhante de valores.

O estudo realizado e a bibliografia consultada permitem entender que possíveis desvios em torno do valor de projecto provocam uma perda de vida útil da camada, só devido a esta característica. No entanto, a importância da compactação do desempenho estrutural do pavimento é elevada o que leva a admitir maiores penalizações económicas mas também à introdução de incentivos económicos caso se verifique uma execução próxima da ideal.

Quanto ao critério utilizado pela EP, verifica-se uma diminuição das exigências para a aceitação do requisito da porosidade comparativamente ao anterior estabelecido pela JAE, definindo como mínimo uma compactação relativa de 97% (o equivalente a cerca de 8% de porosidade, para um valor de formulação de 5%). O actual CETO da EP admite, embora com aplicação de penalizações económicas, a aceitação de camadas com porosidades até 10%, o equivalente a uma compactação relativa de 95%.

Para o critério “Regularidade Longitudinal - IRI” é tida em consideração a mesma expressão (5.6). A análise da penalização para este requisito fixou-se na comparação com os dados apresentados por algumas entidades norte-americanas, o que revelou que a percentagem aplicada pela EP está dentro dos valores percentuais considerados por essas entidades. Muito embora apresentem critérios mais exigentes para o IRI, as entidades norte-americanas aplicam incentivos económicos caso os valores de IRI medidos sejam superiores aos critérios mínimos de aceitação para pagamento integral da camada.

A discrepância de valores entre os critérios norte-americanos e os nacionais (tal como para com os espanhóis), poderá dever-se ao facto de os primeiros considerarem uma avaliação do desempenho do pavimento (vida útil), tendo em conta a preocupação em reduzir o desgaste provocado na via pelos ressaltos dos veículos quando circulam em vias mais irregulares, procurando-se assim aumentar a vida em serviço do pavimento e reduzir os custos dos departamentos de transporte em futuras reabilitações das características funcionais.

No caso da macrotextura, verificou-se que existe uma relação com os resultados obtidos na avaliação do coeficiente de atrito, o que nas condições actuais, poderá conduzir a uma situação em que o Adjudicatário pague duas vezes pela fraca qualidade da macrotextura. Por esse facto sugere-se que o pagamento destes dois requisitos seja avaliado em conjunto, através da determinação do IFI, muito embora ainda existam algumas incertezas quanto aos coeficientes a utilizar da determinação desse índice.

No que diz respeito à capacidade estrutural, corre-se igualmente o risco de penalizar duplamente o Adjudicatário dada a hipótese de já ter sido penalizado no requisito “Porosidade”, pelo facto de este último requisito influenciar de forma inequívoca a capacidade estrutural do pavimento.

Como já foi referido, tanto os incentivos como as penalizações económicas a aplicar devem ter na sua expressão de cálculo um factor que permita diferenciar os valores medidos em função do seu afastamento do valor de projecto, tal como acontece com a expressão (5.2), utilizada para o critério “Espessura da Camada”, de modo a tornar o pagamento mais justo já que diferentes valores dentro do intervalo de incentivo/penalização económica representam diferentes níveis de qualidade do pavimento.

6 CASO DE ESTUDO

6.1 Introdução

No âmbito desta dissertação, considerou-se adequado a realização de um caso de estudo com base em dados reais e com o objectivo de analisar as alterações que o novo CETO da EP implementa em relação ao anterior da JAE, no que diz respeito aos critérios de avaliação dos requisitos das camadas após a sua execução e verificar se o aumento de exigência conduziria à rejeição do trabalho executado.

Nos dias 27 e 28 de Julho de 2011 foi realizada uma visita aos trabalhos que decorrem na Subconcessão do Douro Interior, na qual a entidade Ascendi assume o papel de Dono de Obra, a empresa Afaplan é responsável pela Fiscalização e o Adjudicatário é a empresa Mota-Engil, S.A.

Esta Subconcessão inclui os trabalhos para a construção do IP2 entre Celorico da Beira e Macedo de Cavaleiros, nos distritos da Guarda e Bragança, respectivamente, assim como a construção do IC5 entre o nó com a EN15 (nó de Pópulo), no distrito de Vila Real, até Miranda do Douro, no distrito de Bragança.

O documento utilizado como Caderno de Encargos para a realização destes trabalhos é o publicado pela Ascendi, em tudo idêntico ao anterior CETO da JAE e que por isso permite comparar a evolução dos critérios do mais recente CETO da EP. Será utilizada a referência “CETO da JAE” para o Caderno de Encargos utilizado pela Ascendi nesta obra.

Devido à extensão da Subconcessão, optou-se por incluir neste caso de estudo apenas um dos lotes que a constitui, sendo escolhido o trecho entre a EN15 (nó de Pópulo, com PK 0+000) até ao nó com a EN212 (PK 6+100), denominado por “lote 6.1 - Murça/Carlão”, perfazendo uma extensão de 6100 metros.

As razões para a escolha deste trecho prendem-se principalmente com o facto de à data da realização deste trabalho, terem sido disponibilizados todos os dados para este trecho, dado que já se encontra em serviço desde Dezembro de 2010, o que permite cumprir com os objectivos da utilização deste caso de estudo.

Em todo este trecho a secção do IC5 tem uma única faixa de rodagem com uma via em cada sentido com excepção das zonas dos nós. Nas zonas dos nós de ligação o perfil transversal tipo é alargado correspondendo a um perfil de 2 x 1 vias dotado de separador central no caso do nó com a EN212 e um perfil de 2x2 vias no caso do nó com EN15 (Norvia, 2010).

Devido às características da orografia do terreno desta região do país e ao tipo de materiais encontrados no traçado da via (solos da classe S3 e S4), foi necessário adaptar as condições de fundação quer em zonas de escavação quer de aterro, o que levou à aplicação de materiais em leito de pavimento diferentes dos encontrados no local. No Quadro 6.1 revelam-se as soluções adoptadas para o leito de pavimento a utilizar neste trecho.

Quadro 6.1 - Soluções admitidas em projecto para o Leito de Pavimento (Norvia, 2010)

Trecho	Leito de Pavimento em		Módulo da Fundação (MPa)
	Aterro em solo	Escavação em solo	
0+000 a 3+600	30 cm de SS_CTG	30 cm de SS_CTG	80
3+600 a 4+100	Não aplicável	20 cm de ABGE	100
4+100 a 6+100	30 cm de SS_CTG	30 cm de SS_CTG	80

SS_CTG - solo seleccionado de acordo com as Cláusulas Técnicas Gerais

De acordo com o projecto de execução (Norvia, 2010), a estrutura do pavimento é composta pelas camadas e materiais apresentados no Quadro 6.2.

Quadro 6.2 - Caracterização do pavimento para o “lote 6.1 - Murça/Carlão” (adaptado de Norvia, 2010)

Localização			Espessura das Camadas (m)				
Secção	PKi	PKf	BBd	MBr		ABGEb	ABGEsb
				Fuso A	Fuso B		
1	0+000	3+600	0,05	---	0,11	0,15	0,15
2	3+600	4+100	0,05	0,09	---	0,15	0,15
3	4+100	6+100	0,05	---	0,11	0,15	0,15

Verifica-se assim que o pavimento utilizado para este caso de estudo é composto por quatro camadas, constituídas pelos seguintes materiais (Norvia, 2010):

- Camada de sub-base em agregado britado de granulometria extensa (ABGEsb);
 - Camada de base em agregado britado de granulometria extensa (ABGEb);
 - Camada de regularização em macadame betuminoso (MBr), com as seguintes soluções:
 - Fuso A - agregado com dimensão nominal 0/25 mm; percentagem volumétrica de betume de 10%; porosidade de 6%; percentagem volumétrica de agregado de 84%.
- ou
- Fuso B - agregado com dimensão nominal 0/37,5 mm; percentagem volumétrica de betume de 9%; porosidade de 7%; percentagem volumétrica de agregado de 84%.
 - Betão betuminoso em camada de desgaste (BBd) com agregado de dimensão nominal 0/14 mm; percentagem volumétrica de betume de 11,5%; porosidade de 5%; percentagem volumétrica de agregado de 84%.

A camada designada em projecto por “regularização” será daqui em diante designada por “ligação” de forma a cumprir com o estabelecido no acervo normativo europeu, já que este caso de estudo se trata de uma obra de construção nova.

Serão avaliados neste caso de estudo os ensaios de caracterização das camadas não ligadas e das compostas por misturas betuminosas a quente (MBQ), assim como a CFP realizada no final da sua execução, para a secção de plena via, de acordo com os dados disponibilizados, como a seguir se apresenta.

Pelo facto de ser desconhecida a data de execução dos trabalhos, o trecho avaliado foi dividido em lotes de 500 metros (uma das possibilidades para a definição de lote), de forma a obter um valor médio para cada um desses lotes e a tornar possível a sua avaliação de acordo com o critério da EP.

O CETO da JAE não aplica a definição de lote utilizada no CETO da EP pelo que se assume para a verificação dos critérios a média dos valores obtidos para cada requisito em toda a extensão do trecho.

6.2 Camadas Não Ligadas

Para as camadas de leito de pavimento em solo ou ABGE, para a sub-base e base compostas por ABGE, o CETO da EP apresenta como requisito para aceitação da camada, a verificação da compactação relativa, da espessura e da cota da camada. Os dados disponibilizados apenas apresentam a verificação da compactação relativa (ou Grau de Compactação - GC), pelo que este será o único critério a ser comparado para este tipo de camada.

A avaliação da compactação relativa foi realizada *in situ* com recurso ao gamadensímetro. Os dados utilizados para esta comparação dizem respeito apenas aos ensaios realizados pelo Adjudicatário, embora também tenham sido realizados ensaios idênticos por parte da Fiscalização mas não em toda a extensão do lote.

6.2.1 Leito de Pavimento

No Quadro 6.3 apresentam-se os resultados médios obtidos para estas medições, correspondentes a cada lote. Constatou-se no entanto que não foram registados ou medidos os valores em diversos pontos do trecho em análise, o que impossibilitou a avaliação de alguns dos lotes.

Quadro 6.3 - Valores médios da compactação relativa para o leito de pavimento

Lote	PK inicial	PK final	Nº amostras	GC médio (%)	Amostras com GC ≤ 97%	Critério EP (Aceita/Rejeita)
1	0+000	0+500	15	98,2	3 (20,0%)	Rejeita
2	0+501	1+000	9	97,6	1 (11,1%)	Rejeita
3	1+001	1+500	72	97,2	32 (44,4%)	Rejeita
4	1+501	2+000	72	97,1	33 (45,8%)	Rejeita
5	2+001	2+500	24	97,5	9 (37,5%)	Rejeita
6	2+501	3+000	0	---	---	---
7	3+001	3+500	0	---	---	---
8	3+501	4+000	21	97,9	6 (28,6%)	Rejeita
9	4+001	4+500	13	98,3	3 (23,1%)	Rejeita
10	4+501	5+000	74	97,5	26 (35,1%)	Rejeita
11	5+001	5+500	59	97,8	14 (23,7%)	Rejeita
12	5+501	6+000	0	---	---	---
13	6+001	6+100	6	97,3	3 (50,0%)	Rejeita
Total			365	97,5		

O critério definido no CETO da JAE refere que o leito de pavimento, ou superfície subjacente, deve apresentar um valor médio mínimo para a compactação relativa de 95% quando referida ao ensaio Proctor Modificado (JAE, 1998c).

Desta forma, o valor obtido para a média do trecho (97,5%) apresenta-se conforme com o critério estipulado neste documento, o que conduziria à aceitação da camada.

Quanto ao CETO da EP, estabelece que a média dos valores de compactação relativa obtidos para cada lote deve ser superior a 97% e que 90% dos resultados individuais deve também ser superior a 97%. Caso contrário, a camada deve ser escarificada e refeita (EP, 2009d).

No que diz respeito à média obtida para cada lote avaliado, constata-se que todos eles cumprem com o critério definido para este requisito, apresentando valores médios superiores a 97%. No entanto, a condição definida para 90% dos valores individuais de cada lote provocaria a rejeição deste requisito em todos os lotes em avaliação, verificando-se sempre a existência de uma percentagem de amostras com grau de compactação inferior ao estabelecido, acima do valor admitido (10% das amostras)

Para este tipo de camada e tendo em conta os valores obtidos, pode-se afirmar que o aumento de exigência dos critérios do CETO da EP para o requisito da compactação relativa, e devido ao critério aplicado aos resultados individuais, levaria à rejeição deste requisito, sendo necessário escarificar e refazer a camada em todos os lotes.

6.2.2 Camada de Sub-base

O critério em vigor no CETO da EP para camadas de sub-base em ABGE é idêntico ao aplicado para a camada de leito de pavimento, impondo que os valores médios obtidos para a compactação relativa de cada lote sejam superiores a 97% da obtida em ensaio Proctor (EN 13286-2), e que 90% dos resultados individuais apresentem valores superiores a 97%,

Por outro lado, o CETO da JAE estabelece como critério que 95% dos resultados individuais devem apresentar um valor de compactação relativa de 95%, referente ao ensaio Proctor Modificado.

Para esta camada, apresentam-se no Quadro 6.4 os valores obtidos para a camada de sub-base.

Quadro 6.4 - Valores médios da compactação relativa para a camada de sub-base

Lote	PK inicial	PK final	Nº amostras	GC médio (%)	Amostras com GC ≤ 97%	Critério EP (Aceita/Rejeita)
1	0+000	0+500	104	98,49	7 (6,7%)	Aceita
2	0+501	1+000	103	99,28	0 (0%)	Aceita
3	1+001	1+500	135	98,72	17 (12,6%)	Rejeita
4	1+501	2+000	60	98,77	1 (1,7%)	Aceita
5	2+001	2+500	114	98,51	14 (12,3%)	Rejeita
6	2+501	3+000	111	98,11	17 (15,3%)	Rejeita
7	3+001	3+500	112	98,40	14 (12,5%)	Rejeita
8	3+501	4+000	128	98,82	3 (2,3%)	Aceita
9	4+001	4+500	87	98,46	6 (6,9%)	Aceita
10	4+501	5+000	102	97,60	41 (40,2%)	Rejeita
11	5+001	5+500	144	98,78	7 (4,9%)	Aceita
12	5+501	6+000	121	98,81	0 (0%)	Aceita
13	6+001	6+100	62	98,14	9 (14,8%)	Rejeita
Total			1383	98,55		

Das 1383 amostras recolhidas e registadas, apenas 11 delas (cerca de 0,8 %) apresentam valores abaixo de 95%, o que conduziria à aceitação deste requisito, de acordo com o CETO da JAE.

Para o critério definido no CETO da EP, os valores médios de cada lote apresentam-se sempre superiores aos 97% estabelecidos como critério de aceitação, no entanto, alguns dos lotes avaliados apresentam mais de 10% de amostras com valores individuais inferiores ou iguais a 97% da compactação relativa exigida, como acontece nos lotes 3, 5, 6, 7, 10, e 13.

Este facto conduziria à rejeição deste requisito e à necessidade de corrigir os valores da compactação relativa, sendo para isso necessária a escarificação e recompactação da camada dos lotes referidos. Já os restantes lotes seriam aceites, sem que fosse necessária qualquer acção correctiva.

6.2.3 Camada de Base

Para as camadas de base compostas por ABGE, o CETO da EP estipula como critério de aceitação da compactação relativa que se verifique que a média de resultados para cada lote seja superior a 98% da baridade obtida através do ensaio Proctor (EN 13286-2). Adicionalmente, 90% dos resultados individuais obtidos devem ser superiores a 98% de compactação relativa

No CETO da JAE é estabelecido que se devem registar medições de pelo menos 98% de compactação relativa em 95% das amostras avaliadas.

Desta forma, e analisando ambos os critérios, constata-se que o aplicado pela JAE é mais exigente pelo facto de obrigar a que uma maior percentagem das amostras tenha valores superiores a 98%.

Os dados obtidos para esta camada apresentam-se no Quadro 6.5.

Quadro 6.5 - Valores médios da compactação relativa para a camada de base

Lote	PK inicial	PK final	Nº amostras	GC médio (%)	Amostras com GC ≤ 98%	Critério EP (Aceita/Rejeita)
1	0+000	0+500	126	98,69	33 (26,2%)	Rejeita
2	0+501	1+000	114	98,82	24 (21,1%)	Rejeita
3	1+001	1+500	114	99,10	14 (12,3%)	Rejeita
4	1+501	2+000	60	98,65	16 (26,7%)	Rejeita
5	2+001	2+500	122	98,82	18 (14,8%)	Rejeita
6	2+501	3+000	135	99,37	6 (4,4%)	Aceita
7	3+001	3+500	124	98,87	16 (12,9%)	Rejeita
8	3+501	4+000	143	98,97	18 (12,6%)	Rejeita
9	4+001	4+500	156	98,90	26 (16,6%)	Rejeita
10	4+501	5+000	125	98,72	31 (24,8%)	Rejeita
11	5+001	5+500	61	98,76	12 (19,7%)	Rejeita
12	5+501	6+000	102	98,95	13 (12,7%)	Rejeita
13	6+001	6+100	12	98,98	1 (8,3%)	Aceita
Total (Critério JAE)			1394	98,90	228 (16,4%)	

No que diz respeito ao critério definido no CETO da EP, todos os valores médios obtidos para os lotes em análise cumprem com os mínimos definidos, no entanto repete-se o facto do critério estipulado para os valores individuais conduzir à rejeição do critério para a maioria dos lotes, sendo que apenas dois (lotes 6 e 13) seriam aceites.

Tendo em conta que o critério do CETO da JAE, verifica-se que mais de 5% das amostras apresentaram valores de compactação relativa inferiores ou iguais a 98%, o que conduz à rejeição de todo o trecho para o requisito em avaliação.

6.3 Camadas em MBQ

Os dados disponibilizados resultantes dos ensaios de verificação da conformidade para a aceitação de camadas de ligação e de desgaste dizem respeito à verificação da porosidade e espessura da camada através da análise em laboratório dos carotes extraídos do pavimento executado, para camada de ligação e de desgaste.

Além destes ensaios, também foi avaliada a colagem das camadas, tendo-se revelado sempre boa e por isso foi afastada desta análise.

Tendo em conta que os dados de projecto se referem às misturas betuminosas através da anterior designação, foi admitido que a camada de regularização dirá respeito a uma camada de ligação e que as duas misturas que a constituem são uma AC32 (referente ao fuso B) e uma AC20 *bin* (para o fuso A). Para camada de desgaste admitiu-se que o betão betuminoso utilizado corresponde a uma AC14 *surf*.

Tal como acontece no capítulo anterior, e pelo facto de ser desconhecida a data de execução dos trabalhos, o trecho em análise foi separado em lotes de 500 metros (uma das possibilidades para a definição de lote), de forma a obter um valor médio para cada um desses lotes e a tornar possível a sua avaliação de acordo com o critério da EP.

O actual CETO da EP, no seu capítulo 14.00 (EP, 2009a), exige que sejam extraídos 5 tarolos (ou carotes) por lote para que se proceda à avaliação da porosidade e espessura de ambas as camadas construídas para este projecto. Tal critério corresponderá a uma média de um carote por cada 100 metros de pavimento, o que nem sempre se verifica nos dados fornecidos relativos a estes procedimentos. Esta diferença de carotes poderá dever-se ao facto do CETO da JAE especificar a extracção de carotes apenas a cada 200 metros de pavimento.

6.3.1 Camada de Ligação

Os dados relativos aos ensaios de porosidade e de espessura da camada realizados para as misturas betuminosas aplicadas em camada de ligação são apresentados no Quadro C.1 (Anexo C).

Pelo facto de existir uma mudança de mistura aplicada nesta camada, entre o PK 3+600 e PK 4+100, foi necessária uma adaptação da dimensão dos lotes utilizados, levando a que o lote 7, anterior ao do aplicado com AC 20 *bin*, seja composto por uma extensão de 600 metros. Entendeu-se que um lote constituído apenas por um carote (seria o respeitante aos PK entre 3+501 e 3+600) não se apresentava como uma boa solução para esta avaliação.

De seguida são avaliados os requisitos da porosidade e espessura da camada de acordo com o critério definido no CETO da JAE e da EP, para esta camada.

Porosidade

Segundo os dados de projecto (Norvia, 2010), a mistura AC32 admite um valor de porosidade de 7% ao passo que a mistura AC20 admite uma porosidade de 6%.

O CETO da JAE estabelece que 95% dos carotes extraídos devem apresentar uma compactação relativa referida à baridade Marshall de 97%. No entanto, os dados disponibilizados não apresentam valores para a compactação relativa da mistura AC20, o que impossibilita a sua análise.

Para o caso da mistura AC32, e devido à não aplicabilidade do método Marshall, o CETO da JAE estabelece que deve ser verificada uma porosidade em obra entre os 4 e os 8% para 95% dos carotes extraídos. Constata-se que são apenas 3 os carotes fora deste intervalo, o que num universo de 47 amostras, representa cerca de 6%, ligeiramente acima dos 5% permitidos, o que conduziria à rejeição do requisito.

De acordo com o critério definido no CETO da EP para a verificação da conformidade deste critério, a mistura AC32 deve apresentar valores médios para cada lote entre 4 e 8% enquanto a mistura AC20 deverá ter valores entre os 3 e 8%. Acresce que não mais que um provete em cada lote pode apresentar um valor individual de porosidade fora do intervalo admitido para a porosidade média do lote e para a porosidade individual de cada carote, definida como 10% para ambas as misturas (EP, 2009d).

Através da análise do Quadro C.1, verifica-se que para o lote 9 existem duas medições individuais de porosidade fora do intervalo admitido para a porosidade média, no entanto cumprem com o valor individual máximo admitido e dado que o valor médio do lote cumpre com o intervalo definido, a camada seria aceite.

No caso do lote 7, um dos carotes extraídos apresenta uma porosidade de 3,7% e portanto fora do intervalo estabelecido. No entanto, por ser o único valor individual do lote fora do intervalo de aceitação, e pelo facto do valor médio da porosidade do lote se encontrar dentro do mesmo intervalo de aceitação, a camada seria aceite como conforme.

Todos os lotes avaliados cumprem com o actual critério do CETO da EP, o que conduziria à aceitação da totalidade do trecho em análise. Acrescenta-se no entanto que para o caso do lote 2, apenas se verifica a extracção de um carote, o que não permite avaliar o lote do mesmo modo dos restantes, pelo facto de uma amostra não ser representativa da extensão do lote.

Espessura da Camada

Para a verificação da conformidade da espessura da camada, há que ter em conta o valor definido em projecto, sendo que para a mistura AC32 preconiza-se como 0,11 m e para a mistura AC20 será de 0,09 m.

O critério definido no CETO da JAE estabelece que 95% dos valores medidos não devem ser inferior à espessura de projecto, sendo que os restantes (5%) devem respeitar uma tolerância de 1 cm em torno do valor de projecto.

Seguindo este critério para a mistura AC32, e tendo em conta que foram avaliados 47 carotes, verifica-se que 13 deles apresentam valores de espessura inferiores ao estabelecido em projecto, o que em percentagem representa cerca de 28%, bem longe dos 5% admitidos. Por este facto, e embora o CETO da JAE não apresente medidas a tomar no incumprimento dos critérios, admite-se que este requisito seria rejeitado e a camada sujeita a uma acção correctiva.

Para troço constituído pela mistura AC20, os valores individuais de espessura são sempre superiores aos 9 cm definidos em projecto.

Quanto ao critério adoptado pelo CETO da EP, este estabelece que a espessura média de cada camada não deve ser inferior ao especificado em projecto, sendo que não mais de dois provetes em cada lote poderão apresentar valores individuais inferiores em mais de 10% da espessura definida em projecto.

À excepção do lote 7, todos os restantes lotes cumprem com o critério definido para este requisito o que conduziria à sua aceitação. Destaca-se que uma das medições obtidas no lote 5 apresenta um valor

individual de espessura inferior à definida em projecto, mas no entanto, e por ser apenas uma, este lote seria aceite dado que o seu valor médio cumpre com o definido em projecto.

Quanto ao lote 7, todos os valores individuais dos carotes extraídos apresentam valores de espessura inferior à de projecto até 10%, existindo inclusive um que excede uma diferença de 10%. Esta situação, e de acordo com o CETO da EP conduz à aceitação da camada de ligação mas mediante a aplicação de uma penalização económica, determinada através da expressão 5.2.

Visto que o quociente entre a espessura média do lote 7 e a definida em projecto resultam num valor de 0,9, constata-se que o valor da espessura deste lote se encontra no limite admissível para a aceitação mediante penalização económica, o que conduz à aplicação da penalização máxima (30% do custo da camada aplicada no lote não conforme).

De acordo com o descrito anteriormente para o desenvolvimento da expressão 5.2, quando respeitante à camada de ligação, sempre que esta camada se encontra com valores médios de espessura no limite da aplicação da penalização, o valor percentual da penalização económica é de 30% sobre o preço unitário da camada e aplicado a todo lote já que se registam sempre valores inferiores à espessura de projecto.

Refere-se que o facto de no lote 7 ser adoptada uma dimensão maior para o lote (600m), em nada altera o valor médio da espessura, já que os cinco primeiros valores individuais também resultam numa média igual à obtida com os seis valores, mesmo sendo o sexto valor inferior à referida média.

Em suma, o actual critério utilizado no CETO da EP para esta camada levaria à aceitação deste requisito, ao contrário do estabelecido no CETO da JAE. A divisão do trecho em lotes torna mais justa e fiável esta avaliação, já que permite seccionar as zonas problemáticas das zonas conformes.

6.3.2 Camada de Desgaste

Para esta camada, apresentam-se no Quadro C.2 os resultados obtidos nos ensaios aos carotes extraídos para a verificação da compactação relativa, da porosidade e da espessura da camada.

De seguida realiza-se uma análise aos resultados obtidos tendo em conta o critério adoptado pelo CETO da EP para os requisitos referidos, e comparando-os com o critério utilizado no CETO da JAE.

Porosidade

Tendo em conta que se admitiu que o betão betuminoso aplicado no trecho em estudo equivale a uma mistura AC14 *surf*, cuja porosidade definida em projecto é de 5%, o CETO da EP determina que a porosidade média de cada lote para este tipo de misturas deve estar num intervalo de valores entre 3 e 7% e que, tal como acontece com a camada de ligação, não mais que um provete em cada lote poderá apresentar um valor de porosidade fora desse intervalo e acima do valor individual limite para cada carote (9%).

Desta forma o intervalo definido será entre 3 e 9%, sendo que se admite que quando mais do que um valor individual de um lote supere esse intervalo, o lote em causa será rejeitado e removida a camada para ser reconstruída.

O critério do CETO da JAE define que 95% dos valores de compactação relativa ao estudo Marshall devem respeitar um grau de compactação de pelo menos 97%, aplicado a toda a extensão do trecho.

Analisando o Quadro C.2, foram admitidas 66 amostras e verifica-se que cerca de 32% (21 amostras) apresentam valores de compactação relativa inferiores a 97%, muito embora se constate que a média de todas as amostras se situe nos 97,5%. Desta forma, a camada será rejeitada por não cumprir com o critério de compactação relativa admitido pelo CETO da JAE

Com a definição de lote introduzida no CETO da EP, é possível separar o trecho em várias secções, o que permite avaliar a conformidade de um requisito para extensões de traçado mais curtas e por isso, em vez de rejeitar toda a extensão do trecho em causa, o requisito será analisado lote a lote.

Dos doze lotes analisados, apenas 3 deles (2, 9 e 11) apresentam valores médios de porosidade dentro do intervalo proposto no critério do CETO da EP e portanto seriam dados como conformes.

Para os lotes 1 e 8, verifica-se que mais do que um valor individual ultrapassa o limite de porosidade estabelecida em 9%, conduzindo por isso à rejeição imediata do lote. No entanto, para estes casos é utilizado um maior número de carotes que os cinco (1 por cada 100 metros de pavimento) recomendado no capítulo 14.00 do CETO da EP (EP, 2009a) o que sujeita o lote à possibilidade de ter mais valores individuais fora do intervalo admissível.

Para estas situações, o CETO da EP poderia estabelecer uma relação percentual entre os carotes não conformes e o número total de lotes extraídos, podendo manter a relação de 1 carote para cada 5 extraídos, citando uma percentagem de 20%.

Finalmente, os restantes lotes (3, 4, 5, 6, 7, 10 e 12) apresentam valores médios no intervalo entre 7 e 9% de porosidade, o que conduziria à sua aceitação mediante a aplicação de uma penalização económica de 20% sobre o custo da camada aplicada em cada lote ou fracção não conforme, como se verifica pela aplicação da expressão 5.6.

Constata-se novamente que a introdução da definição e utilização de lotes para a análise dos requisitos da camada é benéfica pelo facto de permitir o seccionamento de zonas do pavimento não conforme.

Espessura da Camada

Para este requisito, tal como se referiu para a camada de ligação, o CETO da EP estabelece que a espessura média de cada camada não deve ser inferior ao especificado em projecto e não mais de dois provetes de cada lote poderão apresentar valores individuais de espessura que sejam inferiores ao especificado em mais de 10%. Lembra-se que a espessura preconizada em projecto para esta camada é de 0,05 m.

Analisando os valores de espessura dos vários lotes apresentados no Quadro C.2, verifica-se que alguns dos valores individuais de cada lote são inferiores em mais de 10%, no entanto, nenhum lote apresenta mais de duas medições com esses valores, o que leva a admitir a aceitação desta parcela do critério.

Quanto às espessuras médias dos lotes, constata-se que alguns valores apresentam-se abaixo do preconizado em projecto mas dentro do limite admitido para aceitação mediante penalização económica (para valores médios até 92% da espessura de projecto).

Referem-se os lotes 2, 4, 6, 7 e 10 como os que estariam sujeitos ao ajuste de pagamento, conduzindo a penalizações de 22, 28, 28, 26 e 24%, respectivamente para os lotes referidos, tendo em conta a expressão 5.2.

Os restantes lotes, por apresentarem espessuras médias iguais ou superiores às preconizadas em projecto seriam aceites, sendo pago ao Adjudicatário a totalidade do valor adjudicado.

Quanto ao critério expresso no CETO da JAE para este requisito, refere que 95% dos carotes devem apresentar espessuras iguais ou superiores às definidas em projecto, sendo que apenas 5% poderão apresentar valores até 0,5 cm em torno do valor de projecto.

Tendo sido analisados 66 carotes, constata-se que apenas 43 amostras (65%) se apresentam com valor maior ou igual a 5 cm, o que se verifica distante dos 95% necessários. Desta forma admite-se que o requisito da espessura seria rejeitado e o trecho sujeito a acções correctivas.

Neste estudo não foi possível avaliar o critério definido no CETO da EP para a verificação da espessura total das camadas betuminosas dado que quando foram extraídos carotes para a verificação da espessura da camada de desgaste, não foi medida ou registada a espessura total de betuminoso nem a da camada de ligação desse carote, o que impossibilita essa análise.

Tal omissão de dados dever-se-á ao facto do CETO da JAE não contemplar a verificação da espessura total das camadas betuminosas.

6.4 Caracterização Final do Pavimento

Esta fase final da avaliação do pavimento consiste na medição em contínuo das características funcionais do pavimento assim como na medição da capacidade estrutural através do ensaio do FWD.

Os dados utilizados neste capítulo, e que servem como referência a esta análise, foram obtidos através da consulta dos relatórios dos ensaios realizados pela empresa Consulstrada, a pedido do Adjudicatário.

6.4.1 Índice de Irregularidade Internacional (IRI)

Os valores máximos admitidos para este critério no actual CETO da EP são idênticos aos definidos no CETO da JAE, sendo que o primeiro destaca-se por estabelecer um critério que admite aceitação da camada mediante a aplicação de uma penalização económica (expressão 5.6) para medições que apresentem valores até 10% além dos máximos definidos. Os limites admitidos para este critério apresentam-se no Quadro 4.5.

Para a avaliação do IRI, foi realizada uma campanha de medição que decorreu no dia 23 de Novembro de 2010, nos alinhamentos coincidentes com os rodados direito e esquerdo de cada via e com recurso a um perfilómetro de laser (Consulstrada, 2010a).

Dada a extensão dos resultados, para este caso de estudo serão apenas apresentados e discutidos os resultados obtidos no sentido crescente do trecho em causa, entre os PK 0+000 e 6+000.

No Quadro C.3 (Anexo C), apresentam-se os resultados obtidos para as medições realizadas para cada troço de 100m. O CETO da EP avalia o IRI com recurso à média obtida para cada lote, entre cinco medições para a média dos dois rodados, mas a evidência dos resultados permite eliminar qualquer dúvida quanto à aceitação deste requisito e portanto, quanto à necessidade de separar o troço em lotes.

Nas Figuras 6.1 e 6.2 apresentam-se os dados tratados dos resultados desta avaliação.

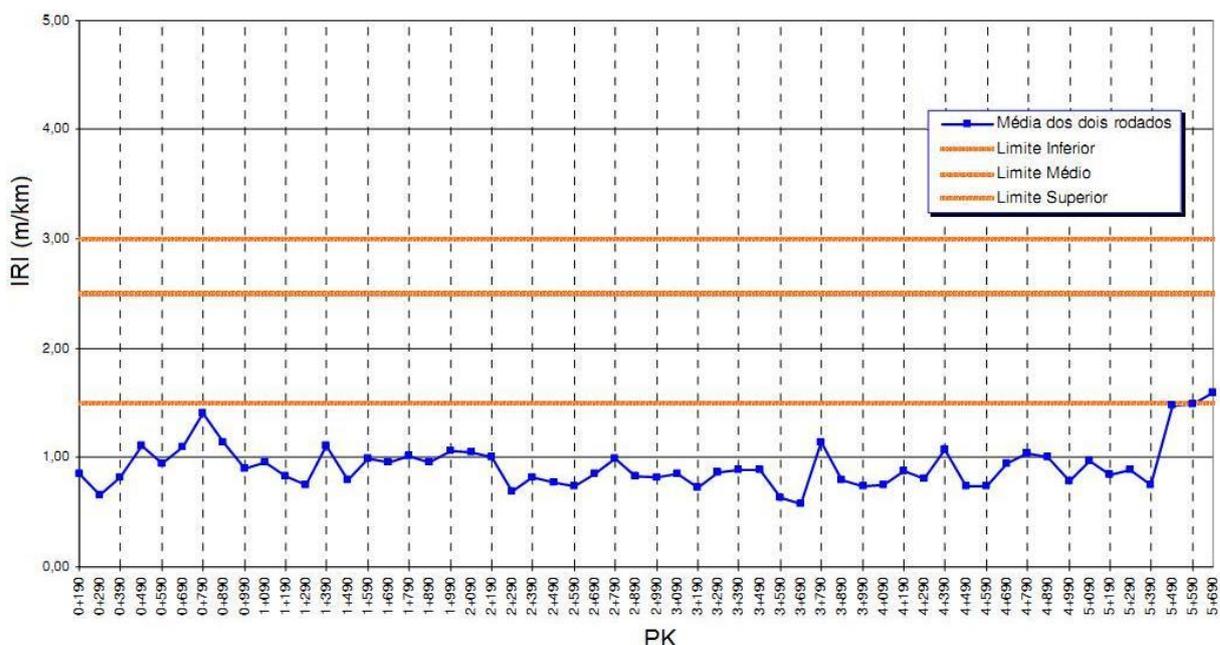


Figura 6.1 - Valores do IRI para a média dos dois rodados em troços de 100m (Consulstrada, 2010a)

Numa análise à Figura 6.1, com auxílio do Quadro C.3, constata-se que apenas um dos valores médios obtidos supera o limite inferior (1,5 m/km) estabelecido pela EP, o que revela desde logo resultados bastante satisfatórios para esta característica.

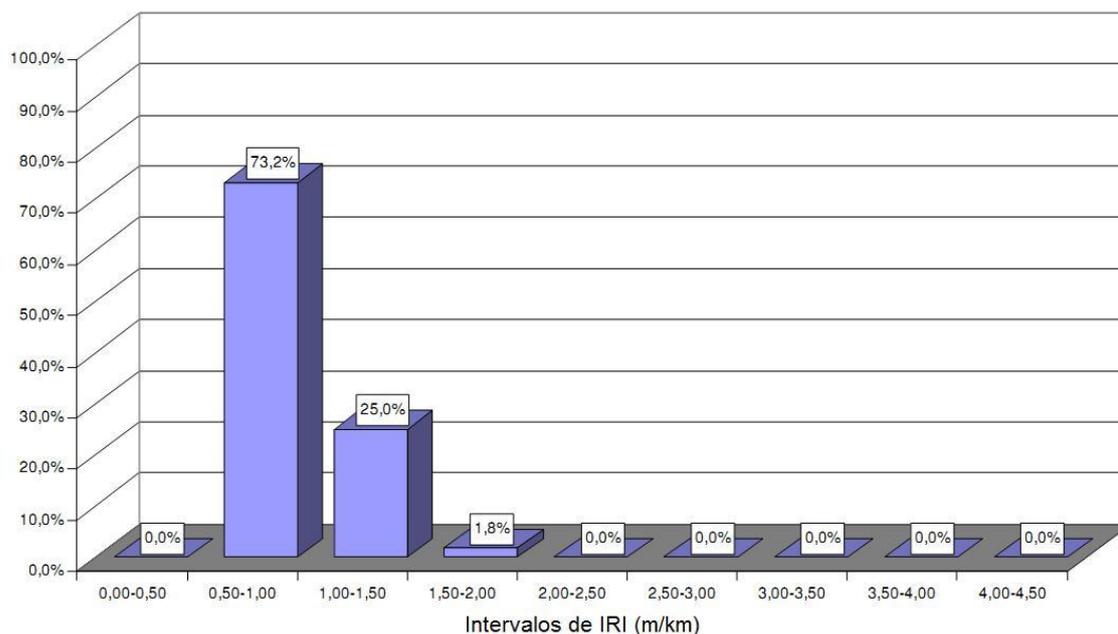


Figura 6.2 - Histograma distributivo dos valores do IRI calculados para a média dos dois rodados em troços de 100m (Consulstrada, 2010a)

Tal facto é comprovado na Figura 6.2, onde é demonstrado que a maioria dos resultados se encontra num intervalo entre 0,5 e 1 m/km, assim como que apenas 1,8% apresentam valores entre 1,5 e 2,0 m/km e portanto bem dentro dos critérios de aceitação definidos no CETO da EP.

Segundo a classificação dos valores do IRI adoptada no CETO da EP, este trecho seria classificado como “Muito Bom” por exceder largamente os parâmetros exigidos.

De acordo com o critério adoptado em Espanha (Ministerio de Fomento, 2008) para o pagamento da camada, e tendo em conta estes resultados, o Adjudicatário seria premiado pelo bom resultado obtido na avaliação do IRI através da aplicação de um incentivo económico de 5% sobre o custo da camada de desgaste, entre os PK 0+190 e 4+190.

6.4.2 Textura Superficial

A avaliação deste requisito realizou-se no dia 23 de Novembro de 2010, com recurso a dois procedimentos. O primeiro baseia-se na avaliação em contínuo utilizando um texturómetro de laser acoplado a um automóvel, sobre o rodado direito da via em causa. Para aferir os resultados obtidos com este procedimento, foi também realizado o ensaio da mancha de areia, embora o CETO da EP prescindia da sua utilização e admita apenas os valores do ensaio em contínuo.

O CETO da JAE refere a realização da medição em contínuo da textura superficial, sem no entanto apresentar valores de referência para a aceitação do requisito, referindo apenas que os valores obtidos devem ser comparados com os do ensaio da mancha de areia. Por este facto é realizada no relatório de ensaio uma correlação entre os valores de ambas as medições para obter um valor ajustado que cumpra com o critério estipulado.

As condições definidas no CETO da EP estabelecem que os resultados do MPD, medido em trechos de 100 metros, devem apresentar valores médios por lote maiores ou iguais a 0,63 mm, para a mistura utilizada em camada de desgaste nesta via (AC14 *surf*). Acrescenta que apenas um valor individual por cada lote (5 trechos de 100 metros) poderá apresentar um resultado inferior em mais de 25% do valor mínimo definido, que para este caso será 0,47 mm ($0,63 \cdot 0,75$).

No Quadro C.4 apresentam-se os resultados fornecidos no relatório de ensaio e que dizem respeito à avaliação em contínuo na plena via, no sentido crescente e entre os PK 0+190 e 5+690. Foram divididos em 12 lotes, com cinco valores individuais cada, sendo que o último lote não é considerado por ter apenas um valor medido.

Constata-se que todos os valores individuais dos trechos de 100 metros cumprem com o critério definido. No entanto existem 3 lotes (7, 9 e 10) que apresentam valores médios inferiores ao estabelecido para a média dos lotes.

Para estes casos, o CETO da EP admite a aceitação do lote mediante a aplicação de uma penalização económica de 20% sobre o custo da camada de desgaste (expressão 5.6) desde que o valor médio seja maior ou igual a 90% do valor mínimo estipulado como critério para cada mistura, que neste caso será de aproximadamente 0,57 mm ($0,63 \cdot 0,90$). Como se verifica no Quadro C.4, todos os três lotes apresentam valores superiores a 0,57 mm, o que significa que seriam aceites com aplicação de penalização económica.

Por ser um requisito do CETO da JAE, foi também realizado o ensaio da mancha de areia, a cada 1000 metros de extensão do trecho. No Quadro 6.6 apresentam-se os resultados dessa avaliação.

Os resultados apresentados cumprem com os valores recomendados no CETO da EP para este ensaio, sem que no entanto este ensaio tenha função de aceitação do requisito.

Quadro 6.6 - Valores do ensaio da mancha de areia (Consulstrada, 2010a)

Nº Ensaio	PK	Altura de Areia (mm)
1	0+100	0,72
2	1+100	0,70
3	2+100	0,76
4	3+100	0,78
5	4+100	0,70
6	5+100	0,79

6.4.3 Coeficiente de Atrito

A avaliação deste requisito decorreu no dia 25 de Fevereiro de 2011, cerca de dois meses após a abertura ao tráfego da via em estudo, e com recurso ao equipamento *Grip Tester*.

O critério utilizado no CETO da JAE estipula um valor mínimo de 0,4 a ser verificado com a utilização dum equipamento do tipo SCRIM. Já o CETO da EP aumenta a exigência do critério, utilizando um valor mínimo de 0,5 para o equipamento SCRIM e de 0,6 para o *Grip Tester*.

Sendo este ensaio realizado com o *Grip Tester* e seguindo as condições do CETO da JAE, são apresentados no relatório do ensaio os valores já transformados para o equivalente aos obtidos com o equipamento SCRIM, através da expressão 6.1, recomendada pelo CEN (Consulstrada, 2011).

$$\text{CAT (SCRIM)} = 0,85 \times \text{GN (Grip Tester)} \quad (6.1)$$

onde,

CAT (SCRIM) é o resultado para o coeficiente de atrito transversal, equivalente ao obtido pelo equipamento SCRIM;

GN (*Grip Tester*) é o valor obtido na medição com o *Grip Tester*.

Na Figura 6.3 apresenta-se um gráfico com os resultados obtidos para o coeficiente de atrito medido em contínuo e considerando já os valores adaptados ao do equipamento SCRIM, tendo em conta a expressão 6.1. São também representados os valores mínimos de aceitação adoptados para este critério no CETO da EP e da JAE.

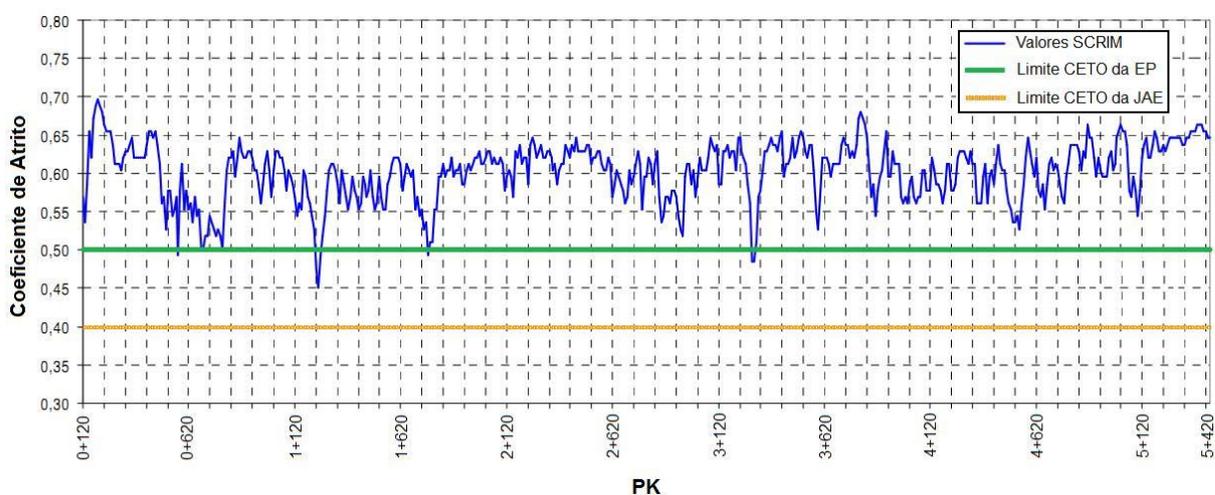


Figura 6.3 - Resultado da medição em contínuo do coeficiente de atrito (adaptado de Consulstrada, 2011)

Entre os dados apresentados no relatório deste ensaio, não constam os valores individuais médio do coeficiente de atrito para cada trecho de 100 metros, o que impossibilita uma avaliação por lote como é estipulado no CETO da EP.

Analisando a Figura 6.3, verifica-se que o aumento da exigência estabelecido no CETO da EP aproxima substancialmente o limite de aceitação da linha “Valores SCRIM”, sendo possível encontrar alguns valores individuais que passam abaixo do limite mínimo.

De acordo com o CETO da JAE, este requisito seria aprovado claramente. Quanto ao critério do CETO da EP, está estabelecido que o valor médio por lote não deve ser inferior ao mínimo especificado (0,50) e que apenas um valor individual por lote poderá apresentar um resultado inferior em mais de 10% do mínimo estabelecido (0,45 para o SCRIM) (EP, 2009d). Mesmo não sendo possível a separação por lotes, pelas razões atrás apresentadas, constata-se que apenas um valor individual, de entre todas as medições realizadas para o lote, se aproxima do valor limite 0,45 (para o PK 1+220).

De acordo com o relatório de ensaio (Consulstrada, 2011), as medições obtidas distribuem-se nas seguintes percentagens: 1,3% das medições encontram-se no intervalo de atrito entre 0,4 a 0,5; 38,7% das medições enquadram-se no intervalo de 0,5 a 0,6; e para o intervalo de atrito entre 0,6 e 0,7 foram registadas 60% das medições.

Desta forma, e tendo em conta que a esmagadora maioria do traçado da linha “Valores SCRIM” passa acima da linha “Limite CETO da EP”, pode afirmar-se com segurança que o valor médio do coeficiente de atrito de cada lote é superior a 0,5, o que conduziria à aceitação deste requisito.

6.4.4 Capacidade Estrutural

A avaliação da capacidade de carga do pavimento construído foi realizada com recurso a um deflectómetro de impacto (FWD), nos dias 30 de Novembro e 6 de Dezembro de 2010, ao longo do rodado direito da plena via, numa extensão aproximada de 5600 metros do trecho em análise (Consulstrada, 2010b).

No Quadro 6.7 são apresentadas as condições de ensaio verificadas e as distâncias entre os vários geofones utilizados.

Quadro 6.7 - Condições de ensaio da capacidade de carga do pavimento (Consulstrada, 2010b)

Força de Pico (kN)	Nº Impactos	Raio da placa (mm)	Condições climatéricas	Distância dos geofones à placa (mm)								
				D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
65	1	150	Céu nublado	0	200	300	450	600	900	1200	1500	2100

Após a realização dos ensaios e obtenção das várias deflexões, é necessário normalizar os valores tendo em conta que de ponto para ponto se verificam variações da força de pico aplicada no pavimento. É também necessária a medição da temperatura atmosférica e da superfície do pavimento, assim como o registo da hora do ensaio, para que sejam ajustados os módulos dos materiais para as temperaturas de projecto (Consulstrada, 2010b).

Na Figura C.1 (Anexo C) é apresentado um gráfico com as deflexões normalizadas para cada 100 metros de via, no sentido crescente, entre os PK 0+200 e 5+800.

De seguida, é necessário conhecer os pressupostos de projecto assumidos para a via, assim como o modelo estrutural adoptado para o dimensionamento do pavimento. No Quadro 6.8 apresentam-se os dados referidos.

Quadro 6.8 - Modelo estrutural adoptado para a plena via do trecho em estudo (Consulstrada, 2010b)

Estrutura do Pavimento	h (m)	Módulo de Rigidez (MPa)	Coefficiente de Poisson
Camada desgaste em betão betuminoso	0,05	5500	0,40
Camada de regularização em macadame betuminoso (fuso B)	0,11 ⁽¹⁾	6500	0,40
Base em ABGE	0,15	280 ⁽²⁾	0,35
Sub-base em ABGE	0,15	150 ⁽³⁾	0,35
Solo de fundação	0,30	80 ⁽⁴⁾	0,35

(1) - Altura de 0,09 (fuso A) para PK 3+600 até 4+100; (3) - 185 MPa para uma fundação de 100 MPa;
 (2) - 320 MPa para uma fundação de 100 MPa (4) - 100 MPa para PK 3+600 até 4+100

Após a normalização das deflexões, é necessário separar o trecho em zonas de deflexão homogénea, onde se identifique um comportamento estrutural idêntico na via, podendo-se obter trechos com extensões diferentes.

De acordo com o relatório de ensaio (Consulstrada, 2010b), o trecho em estudo foi dividido em cinco zonas, como se apresenta no Quadro 6.9.

Quadro 6.9 - Troços homogéneos adoptados (Consulstrada, 2010b)

Zona	Extensão
Z1 A	0+200 a 1+200
Z2 A	1+300 a 1+800
Z3 A	1+900 a 3+500
Z4 A	3+600 a 4+900
Z5 A	5+000 a 5+800

Destes troços, foram removidos dois pontos em que as medições obtidas foram consideradas como valores extremos e por esse facto não representam o conjunto das deflexões medidas para cada zona. São eles o PK 4+000 (Z4 A) e o PK 5+100 (Z5 A).

O cálculo prossegue com a determinação dos valores das médias, desvio padrão e percentil 85% das deflexões obtidas, admitindo que os valores medidos têm uma distribuição normal, para de seguida se obter os módulos de rigidez das camadas do pavimento através de uma retro-análise, onde é considerada o efeito da temperatura do pavimento, no momento do ensaio.

De acordo com o relatório de ensaio (Consulstrada, 2010b), para a determinação dos valores estimados dos módulos de rigidez, foram admitidas as hipóteses que a seguir se apresentam:

- A camada de fundação foi dividida em duas camadas, uma superior e outra inferior. A camada inferior é mais rígida e corresponde a materiais de melhor qualidade. À camada superior foi atribuída uma espessura variável de 0,3 a 3,0 m, dado que a espessura poderá variar consoante as deflexões obtidas;
- As camadas granulares, de sub-base e base, com 0,15 m de espessura cada, foram consideradas como uma só, perfazendo uma espessura total de 0,3 m;

- Pelo facto das camadas betuminosas com espessura até 0,05 m não terem expressão estrutural quando existem no pavimento camadas betuminosas mais espessas, as camadas de ligação e desgaste foram consideradas como uma só, admitindo-se espessuras totais de 0,16 m (0,05 + 0,11 m) e de 0,14 m (0,05 + 0,09 m).

No Quadro 6.10 são apresentados os módulos de rigidez obtidos para as várias camadas do pavimento considerado, em plena via, no sentido crescente e entre os PK 0+200 e 5+800.

Quadro 6.10 - Módulos de rigidez das camadas do pavimento entre os PK 0+200 e 5+800 (Consulstrada, 2010b)

PK	Zona	Camadas Betuminosas					Camadas Granulares		Solo de Fundação		
		E_{MBt} (MPa)	$T_{E(1/2)}$ (°C)	E_{MBtp} (MPa)	T_{Proj} (°C)	h_{MB} (m)	E_{CG} (MPa)	h_{CG} (m)	E_{SFCS} (MPa)	h_{CS} (m)	E_{SFCl} (MPa)
0+400	Z1 A	7100	3,0	2600	24,2	0,16	250	0,30	80	0,30	170
1+400	Z2 A	6600	3,4	2500	24,2	0,16	200	0,30	91	3,00	250
2+000	Z3 A	6400	2,9	2300	24,2	0,16	200	0,30	110	3,00	320
3+100		6650	2,3	2200	24,2	0,16	220	0,30	110	3,00	320
4+300	Z4 A	9500	4,5	3900	24,2	0,16	290	0,30	110	3,00	350
4+800		8800	4,2	3600	24,2	0,16	270	0,30	110	3,00	350
5+500	Z5 A	8800	4,3	3600	24,2	0,16	270	0,30	85	3,00	300

Em que, E_{MBt} é o módulo de rigidez estimado para o conjunto das camadas betuminosas para a temperatura de ensaio; $T_{E(1/2)}$ é a temperatura de ensaio a meio da espessura do conjunto das camadas betuminosas; E_{MBtp} é o módulo de rigidez corrigido para o conjunto das camadas betuminosas para a temperatura de projecto; T_{Proj} é a temperatura de projecto calculada pelo método da Shell a meio da espessura do conjunto das camadas betuminosas; h_{MB} é a espessura das camadas betuminosas; E_{CG} é o módulo de rigidez da camada granular; h_{CG} é a espessura da camada granular; E_{SFCS} é o módulo de rigidez estimado para a camada superior do solo de fundação; h_{CS} é a espessura da camada superior do solo de fundação; E_{SFCl} é o módulo de rigidez estimado para a camada inferior do solo de fundação.

Analisando o Quadro 6.10, verifica-se que os módulos de rigidez obtidos para o solo de fundação cumprem com o especificado no Quadro 6.8. Da mesma forma, os valores obtidos para os módulos de rigidez das camadas granulares encontram-se próximos do especificado em projecto, tendo em conta as duas camadas de ABGE.

No entanto, para as camadas betuminosas, constata-se que os valores obtidos do módulo de rigidez corrigido para o conjunto das camadas betuminosas (E_{MBtp}) encontram-se muito aquém do especificado em projecto. Assim, uma análise à vida útil do pavimento torna-se desnecessária já que o afastamento entre os módulos obtidos através da campanha de ensaios do FWD e os preconizados em projecto indicam uma vida útil muito inferior à dimensionada em projecto.

Desta forma, e de acordo com o CETO da EP (EP, 2009d), toda a estrutura do pavimento seria removida para transporte a vazadouro e executada uma nova estrutura de pavimentação por conta do Adjudicatário.

Tendo em conta que de acordo com o CETO da EP (EP, 2009d), os resultados obtidos para os requisitos da porosidade e da espessura da camada levariam à aceitação de todos os lotes para a camada de ligação e apenas à rejeição de 2 lotes para o requisito da porosidade em camada de desgaste, como referido no subcapítulo 6.3, não seria expectável a obtenção de módulos de rigidez das misturas betuminosas tão baixos como os apresentados no Quadro 6.10.

Uma possível razão para a obtenção destes valores poderá estar associada à temperatura média do ar aquando da execução da campanha de ensaios de FWD (1,0 e 6,5 °C para os dias anteriores à sua realização), pelo facto de serem tão baixas e tão afastadas da temperatura de serviço prevista em projecto (24,2 °C). No entanto, as temperaturas medidas encontram-se dentro do intervalo entre 0 e 30 °C recomendado pelo InIR (InIR, 2011).

Quando sujeitas a temperaturas tão baixas e à aplicação de uma carga dinâmica como a aplicada neste ensaio, o comportamento das misturas betuminosas não será certamente igual ao previsto em projecto.

Seria portanto recomendável a execução de uma nova campanha de ensaios de capacidade de carga a temperaturas mais amenas e próximas das previstas em projecto, antes da remoção e reaplicação de uma nova estrutura de pavimento.

6.5 Considerações Finais

A utilização deste caso de estudo teve o objectivo de verificar as alterações nos critérios de aceitação das camadas de um pavimento rodoviário, resultante da actualização do CETO da JAE para o actual CETO da EP. Foram disponibilizados os dados das medições realizadas na Concessão do Douro Interior, para o trecho do IC5 entre Murça e Carlão, que contempla uma extensão aproximada de 6100 metros de via, o que permitiu a avaliação dos critérios para as várias camadas do pavimento construído, tendo em conta as suas características de projecto.

Para a camada de leito de pavimento regista-se um claro aumento da exigência dos critérios aplicados pelo CETO da EP em relação aos preconizados pelo documento da JAE. De acordo com o CETO da JAE o requisito “Compactação relativa” seria aceite, mas já no caso do CETO da EP a utilização dum critério que impõe que 90% das medições de cada lote apresentem valores de compactação relativa superiores a 97% levou à rejeição do requisito em todos os lotes, mesmo tendo-se verificado que os valores médios de cada lote superavam o mínimo exigido.

O mesmo acontece com a camada de sub-base, onde o critério aplicado aos valores individuais das amostras conduz à rejeição de 6 dos 13 lotes, de acordo com o CETO da EP, muito embora os valores médios estejam acima do exigido. Ainda para esta camada, e por apresentar um critério menos exigente, o requisito seria aceite de acordo com o CETO da JAE.

Na última das camadas não ligadas da estrutura deste pavimento, a camada de base, verifica-se uma situação semelhante, ou seja, o requisito é rejeitado pelo CETO da EP em 11 dos 13 lotes de acordo com o critério aplicado aos valores individuais das amostras, mesmo verificando-se que os valores médios de todos os lotes cumprem com o mínimo exigido.

Realça-se que para a camada de base em ABGE, o critério aplicado no CETO da JAE é mais exigente que o aplicado no CETO da EP, pelo facto de impor que uma maior percentagem de amostras cumpra com a percentagem mínima exigida de compactação relativa (95% contra os 90% do CETO da EP).

Para os materiais betuminosos, foi avaliada a porosidade e a espessura das camadas de ligação e de desgaste, através dos dados obtidos pelos ensaios realizados com os carotes extraídos do pavimento.

Para a verificação da porosidade na camada de ligação, o critério utilizado pela JAE conduziria à rejeição do requisito, muito embora por uma margem curta, enquanto o critério adoptado pelo CETO da EP permite a aceitação do requisito. O mesmo se verifica com o critério da espessura da camada,

onde o CETO da JAE conduziria à rejeição do requisito, enquanto o CETO da EP admitiria a aceitação dos vários lotes, embora no lote 7 haja lugar à aplicação de uma penalização económica de 30%.

Para a camada de desgaste repete-se a mesma situação verificada na camada de ligação, tanto para o requisito da compactação relativa como para o da espessura da camada, onde mais uma vez os critérios definidos no CETO da JAE conduzem à rejeição de ambos os critérios.

Ainda para esta camada, mas agora tendo em conta os critérios do CETO da EP definidos para a porosidade, verifica-se que dos 12 lotes considerados, apenas 2 seriam rejeitados, obrigando à fresagem da camada e à sua reconstrução. Dos restantes 10 lotes, 7 seriam aceites mediante a aplicação de uma penalização económica de 20% sobre o custo da camada (expressão 5.6) e apenas 3 permitiriam a aceitação da camada com pagamento integral do valor adjudicado.

Para o requisito da espessura em camada de desgaste, de acordo com o CETO da EP, todos os 12 lotes seriam aceites, mas 5 deles estariam sujeitos à aceitação mediante a aplicação de uma penalização económica, que será tanto maior quanto maior for a diferença entre o valor da espessura de projecto e a média do lote medida em obra.

O facto do CETO da JAE levar à rejeição na maioria dos requisitos, quando o documento da EP levaria à sua aceitação, não deve ser entendido como uma perda de rigor ou exigência do novo documento da EP, dado que um dos factores que mais contribui para tal constatação prende-se com a separação dos trechos em lotes, tal como o documento da EP refere, e que permite sectionar as zonas da camada não conformes evitando que estas afectem a média total do trecho.

O último conjunto de requisitos avaliados diz respeito à CFP, onde se realizou a comparação dos critérios tendo em conta a avaliação do IRI, da textura superficial e do coeficiente de atrito do pavimento, assim como a sua capacidade estrutural.

Os critérios utilizados para a verificação do IRI, pelo novo CETO da EP, não apresentam qualquer alteração em relação ao utilizado no CETO da JAE. Destaca-se o facto dos bons resultados obtidos entre o PK 0+190 e 4+190 permitirem, de acordo com o documento espanhol, a aplicação de incentivos financeiros no pagamento da camada ao Adjudicatário.

Quanto à medição realizada em contínuo para avaliação da textura superficial do pavimento, verificou-se que três dos lotes em análise estariam sujeitos à aplicação de uma penalização económica de 20% sobre o seu custo de aplicação para que fossem aprovados, muito embora os valores médios desses lotes não se afastassem do limite mínimo em mais de 5%. Este facto reitera a severidade da penalização económica aplicada à textura pela EP, ao não contemplarem uma relação entre os valores medidos e os mínimos exigidos no critério, o que proporcionaria uma redução de preço mais justa, tal como acontece com a espessura.

Para a avaliação do atrito, regista-se uma evolução do limite mínimo de aceitação estipulado no CETO da EP em relação ao da JAE. No entanto os valores medidos no trecho em análise cumprem com os critérios de ambos os documentos, sem que seja necessária a aplicação de uma penalização económica.

Os resultados obtidos para a capacidade de carga revelam um pavimento com uma vida útil muito reduzida em relação à prevista em projecto, o que levaria à remoção das camadas betuminosas. No entanto, a temperatura de ensaio poderá ter influenciado os valores dos módulos de rigidez obtidos para o conjunto das camadas betuminosas, recomendando-se assim a repetição do ensaio a temperaturas mais próximas das de serviço.

7 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1 Conclusões

As vias de comunicação rodoviárias são infra-estruturas de transporte fundamentais para o desenvolvimento socioeconómico de qualquer país, dado que asseguram o intercâmbio de pessoas e mercadorias, de forma eficaz, segura, rápida, e entre qualquer região que liguem.

Dentro da realidade portuguesa, cabe à Estradas de Portugal, S.A. não só a gestão de grande parte da rede rodoviária nacional já edificada, mas também a construção de novos trajectos que garantam a melhoria das ligações entre os vários pontos do país.

Dada a situação económico-financeira sensível que se vive actualmente, não só no nosso país mas um pouco por todo o mundo, torna-se necessário assegurar que os investimentos realizados na construção de acessos rodoviários garantem uma utilização segura e durável dos mesmos.

A utilização de cadernos de encargos permite assegurar ao Dono de Obra que os trabalhos executados pelo Adjudicatário estão de acordo com o contratado e expresso em projecto, garantindo a boa qualidade requerida pelo Dono de Obra.

A mais recente actualização do CETO da EP para pavimentação, publicada em Fevereiro de 2009, veio substituir o CETO da JAE, até então em vigor. As diversas alterações que este documento apresenta visam sobretudo a adaptação ao novo acervo normativo europeu, através de alterações como a substituição de procedimentos de ensaio, a uniformização da designação de misturas betuminosas ou a adaptação à nova série de peneiros europeia.

Outra das modificações registadas nesta nova edição é a introdução de critérios de aceitação/rejeição para a verificação da conformidade de alguns requisitos e a alteração de outros anteriormente em vigor. No caso de se verificar a não conformidade de um requisito da camada, são apresentadas penalizações económicas a aplicar ao Adjudicatário pela execução de um produto de qualidade inferior ou acções correctivas a tomar para que a camada seja melhorada e possa ser novamente avaliada.

Neste trabalho foram avaliados os critérios de aceitação/rejeição utilizados pela EP no seu CETO, para camadas terminadas, através da comparação das condições e valores limite que apresentam nos vários requisitos para as camadas compostas por material não ligado, camadas compostas por misturas betuminosas a quente e para Caracterização Final do Pavimento.

A comparação foi realizada com outros documentos apresentados por entidades diferentes da EP, com actividade em Portugal, como a Brisa e Ascendi, e com outros que vigoram em países como Espanha, Inglaterra e Brasil.

No âmbito nacional, a análise realizada permite confirmar que esta nova edição do CETO apresenta um aumento considerável dos valores limite dos requisitos de conformidade das camadas, quando comparados com o anterior CETO da JAE, ainda em vigor para a entidade Ascendi.

Na comparação com o documento da Brisa verificou-se que este apresenta algumas condições mais exigentes que o da EP, sem que no entanto sejam valores muito discrepantes. Já o documento espanhol apresenta critérios mais semelhantes com os apresentados no CETO da EP, inclusive pelo facto de considerar a aplicação de penalizações económicas.

Para a Caracterização Final do Pavimento, procedimento com três ensaios de caracterização funcional e um outro de caracterização estrutural, verificou-se que os valores apresentados pela entidade espanhola para os ensaios de caracterização funcional apresentam-se mais exigentes que os da EP. O requisito “Capacidade Estrutural” não foi comparado por não ser referida a sua execução ou apresentadas condições de aceitação em qualquer dos documentos analisados.

A introdução de penalizações económicas para requisitos de camadas betuminosas permite a aceitação desse requisito mediante a redução do pagamento ao Adjudicatário. Em comparação com o CETO da JAE, esta solução é vantajosa tanto para o Dono de Obra como para o Adjudicatário, já que um valor ligeiramente afastado do valor limite do critério conduziria à rejeição do requisito e remoção da camada (mais custos para o Adjudicatário). Assim, e para estes casos, a penalização económica funciona como um ajuste de pagamento em relação ao valor adjudicado para uma determinada camada, já que o produto final apresenta também uma qualidade inferior à prevista e o Dono de Obra pagará menos por esse produto.

Tendo em conta critérios de aceitação semelhantes, as penalizações utilizadas pela EP são sempre superiores às aplicadas pelo MF em Espanha, o que para alguns requisitos se mostra desadequado pela menor importância destes no desempenho do pavimento, como é o caso da penalização aplicada à espessura da camada.

Os desvios de porosidade de 2% em torno do valor de projecto conduzem a uma significativa perda de vida útil da camada e só devido a este requisito. Dada a importância da compactação no desempenho estrutural do pavimento, torna-se admissível a aplicação de penalizações económicas mais severas ou a revisão dos valores limite admitidos no critério de aceitação deste requisito.

Da mesma forma que são aplicadas penalizações económicas, deve ser também considerada a utilização de incentivos financeiros, de forma a bonificar o Adjudicatário pela boa qualidade do produto final, para um determinado requisito. Embora não seja actualmente considerada no CETO da EP, a utilização de incentivos financeiros trará uma maior motivação ao Adjudicatário para que apresente um produto final de acordo com a qualidade prevista ou até de qualidade superior, dependendo do requisito em causa, podendo o Dono de Obra beneficiar de um produto final com uma vida útil maior.

De entre os vários requisitos sujeitos à aplicação de penalizações económicas, verificou-se a relação entre alguns deles, o que torna possível penalizar duplamente o Adjudicatário e portanto injusto. Sabendo-se da relação entre o coeficiente de atrito e a macrotextura do pavimento ou da porosidade e da espessura com a capacidade estrutural, deve-se promover o pagamento ou aplicação de penalizações através de um índice que os relacione, como o IFI ou o EFI para o caso do atrito e textura.

Salienta-se que a utilização de expressões de cálculo das penalizações económicas que consideram a relação entre os valores medidos e os valores de projecto tornam-se muito mais justas e coerentes com a qualidade do produto final, ao invés das outras que apresentam um valor constante para um intervalo de valores limite. De todos os requisitos avaliados no CETO da EP, apenas a penalização aplicada à espessura da camada considera essa relação de valores.

A utilização do caso de estudo permitiu avaliar as alterações dos critérios do CETO da EP em relação ao anteriormente em vigor para as suas obras, o CETO da JAE, recorrendo a dados reais resultantes da avaliação de algumas das características finais das camadas granulares, das camadas compostas por misturas betuminosas a quente e da caracterização final do pavimento.

Para as camadas não ligadas, o aumento do valor mínimo de compactação relativa média a obter não afectou a aceitação das camadas, no entanto, a introdução de um requisito para os valores individuais levou à rejeição de todas elas, de acordo com os critérios estabelecidos no CETO da EP.

Nas camadas de ligação e desgaste, os dados fornecidos revelaram que de acordo com o CETO da JAE, nem os requisitos da porosidade nem o da espessura seriam aceites em ambas as camadas, pelo facto de existirem demasiados valores individuais abaixo do valor de referência.

Quanto ao critério da EP, a camada de ligação seria penalizada num dos lotes devido requisito da espessura, enquanto na camada de desgaste se verifica a rejeição de dois lotes e a aplicação de penalizações económicas a sete lotes, sendo que apenas três seriam aceites sem penalização, para o critério da porosidade. Para o critério da espessura em camada de desgaste, cinco dos doze lotes seriam aceites mediante a aplicação de penalização económica.

O facto do CETO da JAE levar à rejeição da maioria dos requisitos para a camada de um pavimento quando o documento da EP levaria à sua aceitação, não deve ser entendido na generalidade como uma perda de rigor ou exigência do novo documento da EP, dado que um dos factores que mais contribui para tal diferença diz respeito à introdução da definição de lote, que permite a separação dos trechos, e assim seccionar as zonas da camada não conformes evitando que estas afectem a média total do trecho e que se corrijam secções conformes.

Admite-se uma diminuição da exigência para o critério da porosidade, especialmente perceptível nos valores obtidos para a camada de desgaste, já que a bibliografia consultada refere perdas bastante significativas de vida útil para porosidade superiores a 8%, a qual de acordo com o CETO da EP é aceite mediante penalização económica, até valores de 10% de porosidade. No entanto a camada fica aplicada e estará em serviço, ao passo que o CETO da JAE não o consentiria.

Os relatórios fornecidos relativos às campanhas de ensaio para a CFP permitiram verificar que todos os requisitos, à excepção da capacidade estrutural, seriam aceites de acordo com o CETO da EP, embora se verifique um aumento da exigência no critério de verificação do coeficiente de atrito e a aplicação de penalizações económicas de 20% devido ao critério da textura superficial.

7.2 Desenvolvimentos Futuros

De forma a continuar o estudo dos critérios de aceitação e rejeição de camadas de pavimentos rodoviários e a proporcionar uma melhoria contínua do CETO da EP, sugerem-se as seguintes propostas para estudos a desenvolver no futuro:

- Prolongamento da análise dos valores limite dos critérios de aceitação às técnicas de reabilitação e manutenção de pavimentos, cada vez mais utilizadas e necessárias;
- Estudo da possibilidade de integração de incentivos económicos em alguns dos requisitos utilizados para a determinação da qualidade da camada construída, dado que fica provado que a sua utilização incentiva o Adjudicatário a realizar um trabalho de melhor qualidade;
- Reformulação das expressões relativas ao cálculo das penalizações económicas (e possivelmente dos incentivos económicos) de forma a que seja considerada a relação entre os valores médios obtidos em cada lote e o valor preconizado em projecto, para que assim se torne o ajuste de pagamento proporcional à qualidade do requisito e em função da sua importância para o desempenho da camada;

- Estudo para a determinação da perda de vida útil real para diferentes valores de porosidade e de espessura para os diferentes tipos de mistura e de camadas admitidas no CETO da EP, com o objectivo de quantificar e melhor ajustar o valor da penalização à perda de vida útil real.

BIBLIOGRAFIA

- AASHTO. 2003.** *Major Types of Transportation Construction Specifications: A guideline to understanding their evolution and application.* AASTHO Highway Subcommittee on Construction - Quality Construction Task Force : Washington D.C., 2003.
- Alves, T. 2007.** *Metodologias de Auscultação de Pavimentos Rodoviários: Aplicação prática do radar de prospecção e do deflectómetro de impacto.* Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil pelo Instituto Superior Técnico : Lisboa, 2007.
- ASTM. 1998.** *E 1960 - Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface.* American Society for Testing and Materials (ASTM) : West Conshohocken, Pensilvânia, 1998.
- ASTM. 2003.** *D 4694 - Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device.* American Society for Testing and Materials (ASTM) : West Conshohocken, Pensilvânia, 2003.
- Azevedo, M. C. 1993.** *Características Mecânicas de Misturas Betuminosas para Camadas de Base de Pavimentos.* Tese elaborada no LNEC e submetida para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pelo IST da Universidade Técnica de Lisboa : Lisboa, 1993.
- Baptista, A. 2006.** *Misturas Betuminosas Recicladas a Quente em Central: Contribuição para o seu estudo e aplicação.* Tese submetida para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil na especialidade de Urbanismo, Ordenamento do Território e Transportes pela F.C.T. da Universidade de Coimbra : Coimbra, 2006.
- Batista, F. 2004.** *Novas Técnicas de Reabilitação de Pavimentos: Misturas betuminosas densas a frio.* Tese elaborada no LNEC para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto : Porto, 2004.
- Baus, R. e Hong, W. 2004.** *Development of Profiler-Based Rideability Specifications for Asphalt Pavements and Asphalt Overlays.* Relatório realizado na University of South Carolina e submetido ao South Carolina Department of Transportation e à Federal Highway Administration : Columbia, Carolina do Sul, 2004.
- Bernucci, L., Motta, L., Ceratti, J. e Soares, J. 2006.** *Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros.* PETROBRAS: ABEDA : Rio de Janeiro, 2006.
- Branco, F., Pereira, P. e Picado Santos, L. 2008.** *Pavimentos Rodoviários.* Edições Almedina, 3ª edição : Coimbra, 2008. ISBN 978-972-40-2648-0.
- Brisa. 2006.** *Caderno de Encargos - Cláusulas Técnicas Gerais: Capítulo 3 - Pavimentação.* Brisa - Auto-estradas de Portugal, S.A. : Carcavelos, 2006.
- Brown, E. 1990.** *Density of Asphalt Concrete - How much is needed?* NCAT Report No 90-3, apresentado na "69th Annual Meeting of the Transportation Research Board" : Washington D.C., 1990.

- BSI. 2007.** *BS 594987 - Asphalt for Roads and Other Paved Areas - Specifications for transport, laying and compaction and type testing protocols.* British Standards Institution (BSI) : London, 2007.
- Capitão, S. 1996.** *Misturas Betuminosas de Alto Módulo de Deformabilidade: Contribuição para a caracterização do seu comportamento.* Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil no ramo de Engenharia Urbana pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCT-UC) : Coimbra, 1996.
- Castelo Branco, F. 2010.** *Levantamento das Características dos Agregados Produzidos em Portugal.* InIR - Ciclo de conferências InIR: Projectos para o futuro : Lisboa, 2010. Disponível em: <http://www.inir.pt/sites/conferencias/documentos/FCastelo Branco - FCTUC - Levantamento das características dos agregados.pdf>.
- CEDEX. 2006.** Equipment for evaluation of skid resistance of pavements (SCRIM). *CEDEX.* [Online] 2006. [Citação: 16 de Junho de 2011.] Disponível em: <http://www.cedex.es/ingles/presentacion/datos/instalaciones/ins12.html>.
- CEN. 1999.** *EN 12595 - Bitumen and bituminous binders - Determination of kinematic viscosity.* Comité Europeu de Normalização (CEN) : Bruxelles, 1999.
- CEN. 2001.** *EN 13036-1 - Road and Airfield Surface Characteristics - Test Methods - Part 1: Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric patch technique.* Comité Europeu de Normalização (CEN) : Bruxelles, 2001.
- CEN. 2002.** *EN 13043 - Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas.* Comité Europeu de Normalização (CEN) : Bruxelles, 2002.
- CEN. 2003a.** *EN 12697-8 - Bituminous Mixtures - Test Methods for Hot Mix Asphalt - Part 8: Determination of void characteristics of bituminous specimens.* Comité Europeu de Normalização (CEN) : Bruxelles, 2003.
- CEN. 2003b.** *EN 13285 - Unbound mixtures - Specification.* Comité Europeu de Normalização (CEN) : Bruxelles, 2003.
- CEN. 2004.** *EN 13036-4 - Road and Airfield Surface Characteristics - Test Methods - Part 4: Method for measurement of slip/skid resistance of a surface - The pendulum test.* Comité Europeu de Normalização (CEN) : Bruxelles, 2004.
- CEN. 2005.** *EN 13286-2 - Unbound and Hydraulically Bound Mixtures - Part 2: Test methods for the determination of the laboratory reference density and water content - Proctor compaction.* Comité Europeu de Normalização (CEN) : Bruxelles, 2005.
- Consulstrada. 2010a.** *IC5 - Douro Interior - Lote 6 - Caracterização Final dos Pavimentos: Medição da irregularidade longitudinal (IRI) e da macrotextura.* Consulstrada - Consultores de Engenharia e Sistemas de Gestão Lda : Barreiro, 2010.
- Consulstrada. 2010b.** *IC5 - Murça (IP4) / Pombal - Trecho: Murça / Carlão - Avaliação da Capacidade de Carga do Pavimento: Ensaios de carga do deflectómetro de impacto.* Consulstrada - Consultores de Engenharia e Sistemas de Gestão Lda : Barreiro, 2010.

- Consulstrada. 2011.** *IC5 - Murça (IP4) / Pombal - Trecho: Murça / Carlão - Caracterização Final dos Pavimentos: Medição do coeficiente de atrito.* Consulstrada - Consultores de Engenharia e Sistemas de Gestão Lda : Barreiro, 2011.
- COST 333. 1999.** *Development of New Bituminous Pavement Design Method: Final Report of the Action.* European Commission - Directorate General Transport : Bruxelles, 1999.
- COST 336. 2005.** *Use of Falling Weight Deflectometers in Pavement Evaluation: Final report of the action - 2nd Edition.* European Commission - Directorate General Transport : Holanda, 2005.
- Cristelo, N. 2001.** *Estabilização de Solos Residuais Graníticos Através da Adição de Cal.* Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil no ramo de Estruturas, Geotecnia e Fundações pela Escola de Engenharia da Universidade do Minho : Guimarães, 2001.
- Cross, S. e Frantzen, J. 2006.** *Evaluating Percent Within Limits (PWL) Specifications: HMA Specifications - Final Report.* Oklahoma Department of Transportation : Oklahoma City, Oklahoma, 2006.
- DNER. 1994a.** *DNER-ME 036/94 - Solo - Determinação da massa específica aparente, "in situ", com emprego do balão de borracha.* Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) : Brasília, 1994.
- DNER. 1994b.** *DNER-ME 052/94 - Solos e Agregados Miúdos - Determinação da umidade com emprego do "speedy".* Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) : Brasília, 1994.
- DNER. 1994c.** *DNER-ME 088/94 - Solos - Determinação da umidade pelo método expedito do álcool.* Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) : Brasília, 1994.
- DNER. 1994d.** *DNER-ME 092/94 - Solo - Determinação da massa específica aparente, "in situ", com emprego do frasco de areia.* Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) : Brasília, 1994.
- DNER. 1997.** *DNER-PRO 277/97 - Metodologia para Controle Estatístico de Obras e Serviços.* Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) : Brasília, 1997.
- DNIT. 2006.** *DNIT 031/2006 ES - Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico: Especificação de serviço.* Departamento Nacional de Infraestruturas Rodoviárias (DNIT) : Brasília, 2006.
- DNIT. 2010a.** *DNIT 137/2010-ES - Pavimentação - Regularização do Subleito: Especificação de serviço.* Departamento Nacional de Infraestruturas Rodoviárias (DNIT) : Brasília, 2010.
- DNIT. 2010b.** *DNIT 139/2010-ES - Pavimentação - Sub-base Estabilizada Granulometricamente: Especificação de serviço.* Departamento Nacional de Infraestruturas Rodoviárias (DNIT) : Brasília, 2010.
- DNIT. 2010c.** *DNIT 141/2010-ES - Pavimentação - Base Estabilizada Granulometricamente: Especificação de serviço.* Departamento Nacional de Infraestruturas Rodoviárias (DNIT) : Brasília, 2010.
- Dynatest. 2008.** *Dynatest FWD / HWD Test Systems. Dynatest.* [Online] 2008. [Citação: 20 de Junho de 2011.] Disponível em: <http://www.dynatest.com/structural-hwd-fwd.php?tab=structural>.

- EAPA. 2007.** *Environmental Guidelines on Best Available Techniques for the Production of Asphalt Paving Mixes*. European Asphalt Pavement Association (EAPA) : Bruxelas, 2007. Disponível em: <http://www.eapa.org/publications.php?c=90>.
- EP. 2009a.** *Caderno de Encargos Tipo Obra : 14.00 - Controlo de Qualidade*. Estradas de Portugal, S.A. : Almada, 2009.
- EP. 2009b.** *Caderno de Encargos Tipo Obra : 14.01 - Terraplenagem - Características dos Materiais*. Estradas de Portugal, S.A. : Almada, 2009.
- EP. 2009c.** *Caderno de Encargos Tipo Obra : 14.03 - Pavimentação - Características dos Materiais*. Estradas de Portugal, S.A. : Almada, 2009.
- EP. 2009d.** *Caderno de Encargos Tipo Obra : 15.03 - Pavimentação - Métodos Construtivos*. Estradas de Portugal, S.A. : Almada, 2009.
- EP. 2011.** Breve cronologia da evolução orgânica da Administração Rodoviária Nacional (1927-2007). [Online] 2011. [Citação: 7 de Setembro de 2011.] Disponível em: <http://www.estradasdeportugal.pt/index.php/historia>.
- Findlay-Irvine. 2007.** Grip Tester. *Findlay Irvine*. [Online] 4 de Abril de 2007. [Citação: 15 de Junho de 2011.] Disponível em: http://www.findlayirvine.com/products/prod_det.php?sectorId=3&productId=10.
- Fontes, L. 2009.** *Optimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos*. Tese submetida para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil no ramo de Vias de Comunicação pela Universidade do Minho : Guimarães, 2009.
- Franklin, W. 1997.** *Composite Payment Equations for an End Result Specification in Nova Scotia*. Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil pela Technical University of Nova Scotia : Halifax, 1997.
- Gardete, D. 2006.** *Comparação de Ensaios Laboratoriais para a Caracterização de Misturas Betuminosas à Deformação Permanente*. Dissertação submetida à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Rodoviária : Coimbra, 2006.
- Harrigan, E., Leahy, R. e Youtcheff, L. 1994.** *The SUPERPAVE Mix Design System Manual of Specifications, Test Methods, and Practices*. National Research Council (Strategic Highway Research Program), Report No. SHRP-A-379 : Washington D.C., 1994.
- Harvey, J., Deacon, J., Tsai, B. e Monismith, C. 1995.** *Fatigue Performance of Asphalt Concrete Mixes and its Relationship to Asphalt Concrete Pavement Performance in California*. California Department of Transportation : Sacramento, California, 1995.
- Highways Agency. 2009a.** *Manual of Contract Documents for Highway Works: Volume 1 - Specification for highway works - series 600, 700, 800 & 900*. Highways Agency (HA) : London, 2009.

-
- Highways Agency. 2009b.** *Manual of Contract Documents for Highway Works: Volume 2 - Notes for guidance on the specification for highway works - series 600, 700, 800 & 900.* Highways Agency (HA) : London, 2009.
- InIR. 2011.** *Construção e Reabilitação de Pavimentos: Indicadores de estado de conservação dos pavimentos.* Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias (InIR) : Lisboa, 2011.
- IPQ. 2002a.** *NP EN 1097-1 - Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 1: Determinação de resistência ao desgaste (micro-Deval).* Instituto Português da Qualidade (IPQ) : Caparica, 2002.
- IPQ. 2002b.** *NP EN 1097-2 - Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação.* Instituto Português da Qualidade (IPQ) : Caparica, 2002.
- IPQ. 2002c.** *NP EN 933-3 - Ensaios das propriedades geométricas dos agregados - Parte 3: Determinação da forma das partículas - Índice de achatamento.* Instituto Português da Qualidade (IPQ) : Caparica, 2002.
- IPQ. 2002d.** *NP EN 933-8 - Ensaios das propriedades geométricas dos agregados - Parte 8: Determinação do teor de finos - Ensaio do equivalente de areia.* Instituto Português da Qualidade (IPQ) : Caparica, 2002.
- IPQ. 2002e.** *NP EN 933-9 - Ensaios das propriedades geométricas dos agregados - Parte 9: Determinação do teor de finos - Ensaio do azul de metileno.* Instituto Português da Qualidade (IPQ) : Caparica, 2002.
- IPQ. 2003.** *NP EN 1097-8 - Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 8: Determinação do coeficiente de polimento.* Instituto Português da Qualidade (IPQ) : Caparica, 2003.
- IPQ. 2006.** *NP EN 12591 - Betumes e ligantes betuminosos: Especificações para betumes de pavimentação.* Instituto Português da Qualidade (IPQ) : Caparica, 2006.
- IPQ. 2010a.** *NP EN 1426 - Betumes e ligantes betuminosos - Determinação da penetração com agulha.* Instituto Português da Qualidade (IPQ) : Caparica, 2010.
- IPQ. 2010b.** *NP EN 1427 - Betumes e ligantes betuminosos - Determinação da temperatura de amolecimento: Método do Anel e Bola.* Instituto Português da Qualidade (IPQ) : Caparica, 2010.
- IPQ. 2010c.** *prNP 4501 - Betume Borracha: Requisitos para betumes com borracha reciclada de pneus usados.* Instituto Português da Qualidade (IPQ) : Caparica, 2010.
- IPQ. 2011.** *NP EN 13108-1 - Misturas betuminosas: Especificações dos materiais - Parte 1: Betão betuminoso.* Instituto Português da Qualidade (IPQ) : Caparica, 2011.
- ISO. 1994.** *ISO 10844 - Acoustics - Specification of Test Tracks for the Purpose of Measuring Noise Emitted by Road Vehicles - Annex A: Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric patch technique.* International Organization for Standardization (ISO) : Genève, 1994.

- JAE. 1995.** *Manual de Concepção de Pavimento para a Rede Rodoviária Nacional.* Junta Autónoma de Estradas (actual Estradas de Portugal, S.A) : Almada, 1995.
- JAE. 1998a.** *Caderno de Encargos Tipo Obra : 14.00 - Controlo de Qualidade.* Junta Autónoma de Estradas (actual Estradas de Portugal, S.A) : Almada, 1998.
- JAE. 1998b.** *Caderno de Encargos Tipo Obra : 14.03 - Pavimentação - Características dos Materiais.* Junta Autónoma de Estradas (actual Estradas de Portugal, S.A) : Almada, 1998.
- JAE. 1998c.** *Caderno de Encargos Tipo Obra : 15.03 - Pavimentação - Métodos Construtivos.* Junta Autónoma de Estradas (actual Estradas de Portugal, S.A) : Almada, 1998.
- Kandhal, P., Veeraragavan, A. e Jain, R. 2010.** *Guidelines for Long Lasting Bituminous Pavements in India.* Journal of the Indian Roads Congress, Paper n. 564 : India, 2010.
- LCPC. 2010.** APL 2 - Analyseur de profil en long. *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.* [Online] 19 de Abril de 2010. [Citação: 12 de Junho de 2011.] Disponível em: <http://media.lcpc.fr/ext/pdf/prod/mlpc/apl.pdf>.
- Lima, H. e Dias, S. 2010.** *Adaptação do Caderno de Encargos Tipo de Obra da EP, S.A. - P3-Pavimentação - aos Requisitos da Normalização Europeia.* InIR - Ciclo de conferências InIR: Projectos para o futuro : Lisboa, 2010.
- LNEC. 1967a.** *E 197 - Ensaio de Compactação.* Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) : Lisboa, 1967.
- LNEC. 1967b.** *E 204 - Determinação da Baridade Seca "In situ" pelo Método da Garrafa de Areia.* Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) : Lisboa, 1967.
- LNEC. 2007.** Marcação CE. *LNEC.* [Online] LNEC, 12 de Dezembro de 2007. [Citação: 26 de Outubro de 2010.] Disponível em: http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/marcacao_ce.
- LNEC. 2008a.** Perfilómetro laser. *LNEC.* [Online] 5 de Maio de 2008. [Citação: 10 de Junho de 2011.] Disponível em: <http://www.lnec.pt/organizacao/dt/nira/perfilometro/?searchterm=perfilometro>.
- LNEC. 2008b.** Grip Tester. *LNEC.* [Online] 16 de Maio de 2008. [Citação: 15 de Junho de 2011.] Disponível em: http://www.lnec.pt/organizacao/dt/nira/grip_tester.
- Luzia, R. 2008.** *Camadas Não Ligadas em Pavimentos Rodoviários: Estudo do comportamento.* Edições Almedina : Coimbra, 2008. ISBN: 978-972-40-3225-2.
- McGhee, K., Flintsch, G. e León, E. 2003.** *Using High-Speed Texture Measurements to Improve the Uniformity of Hot-Mix Asphalt - Final Report.* Virginia Transportation Research Council : Charlottesville, Virginia, 2003.
- Ministerio de Fomento. 2008.** *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) - Artículos 340, 510, 542 y 543.* Ministerio de Fomento (MF) - Dirección General de Carreteras : Madrid, 2008.

- NCHRP. 2004.** *Quality Characteristics for Use with Performance-Related Specifications for Hot Mix Asphalt*. Research Result Digest 291 from NCHRP project 9-15: Quality Characteristics and Test Methods for Use in Performance-Related Specifications of Hot Mix Asphalt Pavements, Transportation Research Board : Washington D.C., 2004.
- Norvia. 2010.** *Projecto de Execução: Volume 8 - Pavimentação*. Subconcessão do Douro Interior - Lanço IC5 Murça (IP4) / Nó de Pombal: Trecho Murça / Carlão : Vila Real, 2010.
- Pave Maintenance. 2011.** Evaluation of Pavement Conditions - Analysis and Models. *Pave Maintenance*. [Online] 2011. [Citação: 21 de Junho de 2011.] Disponível em: <http://pavemaintenance.wikispaces.com/CVEEN+7570>.
- Pavement Interactive. 2007.** Roughness. *Pavement Interactive*. [Online] 16 de Agosto de 2007. [Citação: 2 de Setembro de 2011.] Disponível em: <http://pavementinteractive.org/index.php?title=Roughness>.
- Pavement Interactive. 2008.** Bleeding. *Pavement Interactive*. [Online] 2008. [Citação: 17 de Maio de 2011.] Disponível em: <http://pavementinteractive.org/index.php?title=Bleeding>.
- Pavement Interactive. 2009.** End Result Specifications. *Pavement Interactive*. [Online] 5 de Junho de 2009. [Citação: 8 de Agosto de 2011.] Disponível em: http://pavementinteractive.org/index.php?title=End-Result_Specifications.
- PIARC. 1995.** *International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements*. PIARC - Technical Committee on Surface Characteristics C.1 : Bruxelles, 1995.
- Pinto, J. 2003.** *Caracterização Superficial de Pavimentos Rodoviários*. Dissertação apresentada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para a obtenção do grau de Mestre em Vias de Comunicação : Porto, 2003.
- Quaresma, L. 2011.** *Acetatos das Aulas de Transportes*. FCT - UNL : s.n., 2011.
- RECIPAV. 2005.** Características das misturas betuminosas com BMB. *RECIPAV*. [Online] 2005. [Citação: 15 de Março de 2011.] Disponível em: <http://www.recipav.pt/artigo.php?id=5&sid=12&artid=8>.
- Roa, J. 2008.** *Evaluation of International Friction Index and High Friction Surfaces*. Tese submetida à Virginia Polytechnic Institute and State University para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental : Blacksburg, Virginia, 2008.
- Santos, J. 2008.** *Compactação: Elementos teóricos*. IST-UTL : Apontamentos da cadeira de Obras Geotécnicas, 2008.
- Scherocman, J. 2000.** Compacting Hot-Mix Asphalt Pavements: Part I. *Roads & Bridges*. [Online] 2000. [Citação: 10 de Setembro de 2011.] Disponível em: <http://www.roadsbridges.com/compacting-hot-mix-asphalt-pavements-part-i>.
- Scholl, L. 1991.** *Pay Adjustment System for AC Pavements (A Five-Year Evaluation)*. Oregon State Highway Division - Materials and Research Section : Salem, Oregon, 1991.

SHELL. 2003. *The Shell Bitumen Handbook*. Thomas Telford, Fifth Edition : London, 2003. ISBN 0-7277-3220-X.

Silva, H. 2005. *Caracterização do Mastique Betuminoso e da Ligação Agregado-Mastique: Contribuição para o estudo do comportamento das misturas betuminosas*. Tese submetida para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil no ramo de Vias de Comunicação pela Universidade do Minho : Guimarães, 2005.

Sivapatham, P. e Beckedahl, H. 2009. *Performance Oriented Payment Adjustment for Flexible Pavements*. in *Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials*. pp. 1269-1278. Taylor & Francis Group : Londres, 2009. ISBN 978-0-415-55854-9.

TRL. 2011. Falling Weight Deflectometer (FWD). *TRL*. [Online] 2011. [Citação: 20 de Junho de 2011.] Disponível em: http://www.trl.co.uk/facilities/mobile_test_equipment/falling_weight_deflectometer.htm.

Vivar, E. e Haddock, J. 2006. *HMA Pavement Performance and Durability*. Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University : West Lafayette, Indiana, 2006.

Zaghloul, S. 2007. *Development of Objective Payment Adjustment Criteria for Nova Scotia*. Artigo apresentado na "Annual Conference of the Transportation Association of Canada" : Saskatoon, Saskatchewan, 2007.

ANEXOS

ANEXO A - Quadros de Comparação dos Critérios de Aceitação das Camadas

Quadro A.1 - Superfície subjacente (Leito do Pavimento)

Especificações	Superfície da camada		Teor em água	Compactação relativa		Espessura da camada			Cota da camada			
	Inclinação Transversal	Irregularidades										
CADERNO DE ENCARGOS - ANO	EP - Caderno de Encargos Tipo Obra / 15.03.1.1.1 - (Portugal) - 2009	2,5% em recta e a defina em projecto, quando em curva.	Não deve apresentar irregularidades > 2 cm, com régua de 3 m.	---	Condição: média de resultados > 97% dos valores obtidos pelo ensaio Proctor Modificado (LNEC E 197)		Condição: média igual à espessura de projecto podendo ter 5% de resultados individuais < 90% da espessura de projecto			Condição: igual à cota de projecto, sendo a camada aceite com diferenças até - 40 mm relativamente à mesma cota.		
					90% de resultados individuais > 97%	Mais de 10% dos resultados individuais < 97% - [A.C.1]	Média ≥ 95% espessura de projecto	85% ≤ Média < 95% da espessura de projecto e sem retenção de água - [A.C.2]	Média < 85% da espessura de projecto - [A.C.1]	Entre - 41 mm e - 50 mm (inclusive) relativamente à cota de projecto - [A.C.2]	Inferior a - 51 mm ou superior à cota de projecto - [A.C.3]	
	JAE / Ascendi - Caderno Encargos Tipo Obra / 15.03.1 - (Portugal) - 1998	2,5% em recta e a defina em projecto, quando em curva.	Não deve apresentar irregularidades > 2 cm, com régua de 3 m.	---	Média de resultados ≥ 95% pelo ensaio Proctor Modificado (LNEC E 197)		Espessura constante definida no projecto			Não deve apresentar diferenças superiores a 5 cm.		
	Brisa - (Portugal)	Sem informação										
	DNIT - DNIT 137/2010-ES - (Brasil) - 2010	---	Admitem-se diferenças até 20% em excesso, para a flecha de abaulamento, não se tolerando a falta.	Condição: medição <i>in-situ</i> (DNER-ME 052/94 ou DNER-ME 088/94) tão próximo quanto possível do teor em água ótimo (∅0) definido pelo ensaio de compactação (DNER-ME 129/94 - energia definida no projecto) - verificação realizada a cada 100m.			Condição: valores medidos <i>in-situ</i> (DNER-ME 092/94 ou DNER-ME 036/94) ≥ 100% dos valores de laboratório (DNER-ME 129/94), respeitando a seguinte condição.			Condição: admitem-se diferenças até ± 3 cm em relação aos perfis estabelecidos em projecto, com a seguinte condição.		
				∅0 ± 2%	Teor de água excessivo - [A.C.4]	Teor de água reduzido - [A.C.5]	Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo de projecto, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].			Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo de projecto e $\bar{X}+k.s \leq$ valor máximo de projecto, aceita-se o serviço. Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].		
Ministerio de Fomento - PG-3 / artº340- (Espanha) - 2002	---	Não deverá variar em mais de 15 mm, com régua de 3 m.	---	---	---	Espessura definida em projecto, não sendo admissível espessuras inferiores			± 3 cm em relação aos perfis estabelecidos em projecto			
Highways Agency - MCHW / Vol.1 series 600 - (Reino Unido) - 2009	---	---	---	Condição: valores <i>in situ</i> (BS 1377-9) ≥ valores laboratório (BS 1377-4). Critério de acordo com as tabelas 6/1 e 6/4 desta série.		---			Condição: igual à cota de projecto, sendo aceite com diferenças até + 20 mm e - 30 mm relativamente à mesma cota.			
				Caso contrário, executar trabalhos necessários para a aceitação da camada		---			Caso contrário - [A.C.3].			

Quadro A.2 - Camada de sub-base em solo

Especificações	Superfície da camada		Teor em água			Compactação relativa		Espessura da camada			Cota da camada		
	Aspecto Visual	Irregularidades											
EP - Caderno de Encargos Tipo Obra / 15.03.1.1.3 - (Portugal) - 2009	Superfície lisa e uniforme, isenta de planos superficiais de compactação ou material solto	---	Condição: tão próximo quanto possível do teor em água ótimo (ω_0) definido pelo ensaio de compactação Proctor (LNEC E 197)			Condição: média de resultados > 97% (LNEC E 197)		Condição: média igual à espessura de projecto podendo ter 5% de resultados individuais < 90% da espessura de projecto			Condição: igual à cota de projecto		
			Varição admissível do ω_0 de $\pm 2\%$	Teor de água excessivo - [A.C.4]	Teor de água reduzido - [A.C.5]	90% de resultados individuais > 97%	Menos de 90% de resultados individuais > 97% - [A.C.1]	Média $\geq 95\%$ espessura de projecto	$85\% \leq$ Média < 95% da espessura de projecto e sem retenção de água - [A.C.2]	Média < 85% da espessura de projecto - [A.C.1]	Até - 25 mm relativamente à cota de projecto	Entre - 26 mm e - 30 mm (inclusive) relativamente à cota de projecto - [A.C.2]	Inferior a - 31 mm ou superior à cota de projecto - [A.C.3]
JAÉ / Ascendi - Caderno Encargos Tipo Obra / 15.03.1 - (Portugal) - 1998	Superfície lisa, isenta de fendas, ondulações ou material solto	Não deve apresentar irregularidades > 2 cm, com régua de 3 m.	Condição: teor de água ótimo determinado pelo ensaio de compactação Proctor Modificado (LNEC E 197)			Condição: compactação relativa $\geq 95\%$ - Ensaio Proctor Modificado (LNEC E 197)		Condição: espessura constante definida no projecto			Até 3,0 cm relativamente à cota de projecto		
			Tolerância não especificada	Teor de água excessivo - [A.C.4]	Teor de água reduzido - [A.C.5]	95% dos valores medidos $\geq 95\%$ da compactação relativa	Com espessuras inferiores às de projecto - [A.C.1] ou [A.C.2] se a Fiscalização o entender						
Brisa - (Portugal)	Sem informação												
DNIT - DNIT 139/2010-ES - (Brasil) - 2010	---	Até 20%, em excesso, para a flecha de abaulamento, não se tolerando a falta.	Condição: medição <i>in-situ</i> (DNER-ME 052/94 ou DNER-ME 088/94) tão próxima quanto possível do teor em água ótimo (ω_0) definido pelo ensaio de compactação (DNER-ME 129 - método B ou C) - verificação realizada a cada 100m.			Condição: será avaliado o GC a cada 100m, onde os valores medidos <i>in-situ</i> (DNER-ME 092/94 ou DNER-ME 036/94) $\geq 100\%$ dos valores de laboratório (DNER-ME 129 - método B ou C), respeitando a seguinte condição.		Condição: aceitam-se medições com diferenças de $\pm 10\%$ em relação à espessura de projecto. O conjunto dos valores medidos tem de respeitar a seguinte condição.			---		
			Varição admissível do ω_0 de $\pm 2\%$	Teor de água excessivo - [A.C.4]	Teor de água reduzido - [A.C.5]	Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].	Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo especificado e $\bar{X}+k.s \leq$ valor máximo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].						
Ministerio de Fomento - (Espanha)	Não utilizam camada de Sub-base não ligada												
Highways Agency - (Reino Unido)	Não utilizam camada de Sub-base em solo												

Quadro A.3 - Camada de sub-base em ABGE

Especificações	Superfície da camada		Teor em água			Compactação relativa (obra/laboratório)		Espessura da camada (após compactação)			Cota da camada				
	Aspecto Visual	Irregularidades	Tolerância não especificada	Teor de água excessivo - [A.C.4]	Teor de água reduzido - [A.C.5]	90% de resultados individuais > 97%	Menos de 90% de resultados individuais > 97% - [A.C.1]	Média ≥ 95% espessura de projecto	85% ≤ Média < 95% da espessura de projecto e sem retenção de água - [A.C.2]	Média < 85% da espessura de projecto - [A.C.1]	Até - 25 mm relativamente à cota de projecto	Entre - 26 mm e - 30 mm (inclusive) relativamente à cota de projecto - [A.C.2]	Inferior a - 31 mm ou superior à cota de projecto - [A.C.3]		
CADERNO DE ENCARGOS - ANO	EP - Caderno de Encargos Tipo Obra / 15.03.1.2.3 - (Portugal) - 2009	---	---	Condição: teor de água óptimo determinado pelo método de ensaio de compactação Proctor (EN 13286-2)			Condição: média de resultados > 97% (EN 13286-2)		Condição: média igual à espessura de projecto podendo ter 5% de resultados individuais < 90% da espessura de projecto			Condição: igual à cota de projecto			
	JAE / Ascendi - Caderno Encargos Tipo Obra / 15.03.1 - (Portugal) - 1998	Superfície lisa, isenta de fendas, ondulações ou material solto.	Não deve apresentar irregularidades > 2 cm, com régua de 3 m.	Condição: teor de água óptimo determinado pelo ensaio de compactação Proctor Modificado (LNEC E 197)			95% dos valores medidos devem apresentar uma compactação relativa de pelo menos 95%, referida ao ensaio Proctor Modificado		Espessura constante definida no projecto	Com espessuras inferiores às de projecto - [A.C.1] ou [A.C.2] se a Fiscalização o entender			Até 3,0 cm relativamente à cota de projecto		
	Brisa - Cláusulas Técnicas Gerais / 2.2 - (Portugal) - 2006	Superfície deve apresentar-se limpa, desempenada e sem material segregado. Caso contrário [A.C.1]	Admite-se irregularidades até 8 mm, com régua de 3 m. Caso contrário [A.C.1] ou [A.C.6].	Condição: humidade mínima de 4,5% para se realizar a operação de compactação			Condição: índice de vazios máximo de 98% em relação ao valor de referência, correspondendo pelo menos a uma baridade seca de 97% (AASHTO T180)		Condição: média não deve ser inferior à espessura definida em projecto. Não mais que 2 amostras do lote podem apresentar valores em mais que 10% aquém do valor de projecto.			Condição: igual à cota de projecto			
	DNIT - DNIT 139/2010-ES - (Brasil) - 2010	---	Até 20%, em excesso, para a flecha de abaulamento, não se tolerando a falta.	Condição: medição <i>in-situ</i> (DNER-ME 052/94 ou DNER-ME 088/94) tão próximo quanto possível do teor em água óptimo (ω_0) definido pelo ensaio de compactação (DNER-ME 129 - método B ou C) - verificação realizada a cada 100m.			Condição: será avaliado o GC a cada 100m, onde os valores medidos <i>in-situ</i> (DNER-ME 092/94 ou DNER-ME 036/94) ≥ 100% dos valores de laboratório (DNER-ME 129/94 - método B ou C), respeitando a seguinte condição.		Condição: aceitam-se medições com diferenças de ± 10% em relação à espessura de projecto. O conjunto dos valores medidos tem de respeitar a seguinte condição.			---			
	Ministerio de Fomento - (Espanha)	Não utilizam camada de Sub-base não ligada													
	Highways Agency - MCHW / Vol.1 series 700 & 800 - (Reino Unido) - 2009	Superfície lisa, isenta de fendas, ondulações, material solto ou outros defeitos. Caso contrário [A.C.1] - (Cláusula 802.8)	---	Condição: medição <i>in-situ</i> (DNER-ME 052/94 ou DNER-ME 088/94) tão próximo quanto possível do teor em água óptimo (ω_0) definido pelo ensaio de compactação (DNER-ME 129 - método B ou C) - verificação realizada a cada 100m.			Condição: será avaliado o GC a cada 100m, onde os valores medidos <i>in-situ</i> (DNER-ME 092/94 ou DNER-ME 036/94) ≥ 100% dos valores de laboratório (DNER-ME 129/94 - método B ou C), respeitando a seguinte condição.		Condição: aceitam-se medições com diferenças de ± 10% em relação à espessura de projecto. O conjunto dos valores medidos tem de respeitar a seguinte condição.			Condição: igual à cota de projecto. Não mais que uma em dez medições pode exceder as tolerâncias apresentadas, em mais de 5 mm.			
				Varição admissível do ω_0 de ± 2%	Teor de água excessivo - [A.C.4]	Teor de água reduzido - [A.C.5]	Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].	Índice de vazios máximo a respeitar será 15%. Para agregados calcários será 13%	Até ± 1,0 cm em relação à espessura teórica	Caso contrário - [A.C.1]	Até ± 1,5 cm em relação ao perfil teórico	Caso contrário [A.C.1]	Até + 10 mm e - 30 mm relativamente à cota de projecto	Caso contrário - [A.C.1]	

Quadro A.4 - Camada de base em ABGE

Especificações	Superfície da camada		Teor em água			Compactação relativa		Espessura da camada			Cota da camada	
	Aspecto Visual	Irregularidades										
EP - Caderno de Encargos Tipo Obra / 15.03.1.2.3 - (Portugal) - 2009	---	---	Condição: teor de água ótimo determinado pelo método de ensaio de compactação Proctor (EN 13286-2)			Condição: média de resultados > 98% (EN 13286-2)		Condição: média igual à espessura de projecto podendo ter 5% de resultados individuais < 90% da espessura de projecto			Condição: igual à cota de projecto, aceitando-se uma diferença de -15 mm.	
			Tolerância não especificada	Teor de água excessivo - [A.C.4]	Teor de água reduzido - [A.C.5]	90% de resultados individuais > 98%	Menos de 90% de resultados individuais > 98% - [A.C.1]	Média ≥ 95% espessura de projecto	85% ≤ Média < 95% da espessura de projecto e sem retenção de água - [A.C.2]	Média < 85% da espessura de projecto - [A.C.1]	Entre -16 e -20 mm relativamente à cota de projecto - [A.C.2]	Inferior a -21 mm ou superior à cota de projecto - [A.C.3]
JAE / Ascendi - Caderno Encargos Tipo Obra / 15.03.3 - (Portugal) - 1998	Superfície lisa, isenta de fendas, ondulações ou material solto.	Não pode apresentar irregularidades > 1,0 cm no sentido longitudinal e > 1,5 cm no sentido transversal, com régua de 3 m.	Condição: teor de água ótimo determinado pelo ensaio de compactação Proctor Modificado (LNEC E 197).			95% dos valores medidos devem ser inferiores ao índice de vazios de referência. Tal valor será o correspondente a uma baridade seca de 98% da que se obteria com uma energia de compactação equivalente à do ensaio Proctor Modificado (LNEC E 197)		Condição: espessura medida deve ser igual à espessura definida no projecto.			A especificação é aceite com uma tolerância de 1,5 cm relativamente à cota de projecto	
			Tolerância não especificada	Teor de água excessivo - [A.C.4]	Teor de água reduzido - [A.C.5]			Com espessuras inferiores às de projecto - [A.C.1] ou [A.C.2] se a Fiscalização o entender				
Brisa - Cláusulas Técnicas Gerais / 2.2 - (Portugal) - 2006	Deve apresentar-se limpa, desempenada e sem material segregado. Caso contrário [A.C.1].	Admite-se irregularidades até 8 mm, com régua de 3 m. Caso contrário [A.C.1] ou [A.C.6].	Condição: humidade mínima de 4,5% para se realizar a operação de compactação.			Condição: índice de vazios máximo de 100% em relação ao valor de referência, correspondendo pelo menos a uma baridade seca de 97% (AASHTO T180)		Condição: média não deve ser inferior à espessura definida em projecto. Não mais que 2 amostras do lote podem apresentar valores em mais que 10% aquém do valor de projecto.			Condição: igual à cota de projecto, aceitando-se uma variação de ±15 mm.	
			Teor de água reduzido - [A.C.5]			Admitem-se até 2 resultados individuais no máximo 10% superiores aos valores de referência desde que a média aritmética ≤ ao fixado como condição.	Índice de vazios máximo a respeitar será 15%. Para agregados calcários será 13%	Até ± 1,0 cm em relação à espessura teórica	Caso contrário [A.C.1]	Caso contrário - [A.C.1]		
DNIT - DNIT 141/2010-ES - (Brasil) - 2010	---	Até 20%, em excesso, para a flecha de abaulamento, não se tolerando a falta	Condição: medição <i>in-situ</i> (DNER-ME 052/94 ou DNER-ME 088/94) a cada 100m, tão próximo quanto possível do teor em água ótimo (ω ₀), definido pelo ensaio de compactação (DNER-ME 129 - método B ou C).			Condição: será avaliado o GC a cada 100m, onde os valores medidos <i>in-situ</i> (DNER-ME 092/94 ou DNER-ME 036/94) ≥ 100% dos valores de laboratório (DNER-ME 129 - método B ou C), respeitando a seguinte condição.		Condição: aceitam-se medições com diferenças de ± 10% em relação à espessura de projecto. O conjunto dos valores medidos tem de respeitar a seguinte condição.			---	
			ω ₀ ± 2%	Teor de água excessivo - [A.C.4]	Teor de água reduzido - [A.C.5]	Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].	Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo especificado e $\bar{X}+k.s \leq$ valor máximo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].					
Ministerio de Fomento - PG-3 / artº510 - (Espanha) - 2004	---	Condição: será medido o IRI (NLT-330) e comparado com o valor da tabela 510.6, em função da espessura das camadas remanescentes do pavimento.	Condição: teor de água medido <i>in situ</i> (UNE-EN 1097-5) tão próximo quanto possível do valor ótimo obtido pelo ensaio Proctor modificado (UNE 103501)			Condição: a baridade seca média obtida não será inferior a 100% do valor de referência (Ensaio Proctor modificado - UNE 103501) para as categorias T00 a T2, nem a 98% para as categorias de tráfego T3 e T4. Não mais que duas (2) amostras do lote podem apresentar valores até 2% abaixo do valor de referência.	Condição: o módulo de suporte Ev2 e a relação Ev2/Ev1, obtidos no ensaio de carga com placa (NLT-357), não devem ser inferiores ao especificado na tabela 510.5.	Condição: média das amostras não deverá ser inferior à espessura de projecto. Não mais que duas (2) amostras do lote podem ter valores individuais 10% inferiores ao previsto em projecto.			Condição: as diferenças de cota entre a superfície construída e a de projecto não excedem em 15 mm para as classes de tráfego T00 a T2, nem 20 mm para as restantes classes. Não existem zonas de retenção de água.	
			Se excede os valores tabelados em menos de 10% do comprimento do lote controlado - [PE4]10%	Se excede os valores tabelados em mais de 10% do comprimento do lote controlado - [A.C.1]	Para as categorias de tráfego T00 a T1, admite-se uma variação de ± 1% em torno do valor ótimo obtido.	Para as categorias de tráfego T2 a T4, admite-se uma variação de ± 1,5% em torno do valor ótimo obtido.	Caso contrário - [A.C.4] ou [A.C.5]	Média obtida cumpre a condição de aceitação, caso contrário [A.C.7]	Média igual à espessura de projecto	Média ≥ 85% da espessura de projecto e sem retenção de água - [A.C.2]	Média < 85% da espessura de projecto - [A.C.1]	Tolerância ultrapassada com cota inferior à de projecto - [A.C.2]
Highways Agency - (Reino Unido)	Não utilizam camada de Base em ABGE											

Quadro A.5 - Camada de base em MBQ

Especificações	Espessura da camada		Porosidade		Regularidade superficial		Macrotextura	
					Controlo topográfico	Regularidade longitudinal e transversal		
EP - Caderno de Encargos Tipo Obra / 15.03.2.7 - (Portugal) - 2009	Condição: valor médio não deverá ser inferior ao especificado em projecto e não mais de 2 provetes de cada lote (mínimo 5 provetes) poderão ter valores individuais inferiores ao especificado, em mais de 10%.		Condição: valor médio da porosidade do lote tem de se incluir dentro do intervalo de valores especificado no Quadro 4.2, para a camada em avaliação. Não mais que 1 provete de cada lote pode exceder o estabelecido no Quadro 4.2.		Superfície desempenada, com perfil transversal livre de defeitos. Não são aceites diferenças > 15 mm relativamente aos perfis de projecto e as tolerâncias não podem interferir com a espessura total do pavimento. A largura será avaliada a cada 12,5 m, não podendo ser inferior à de projecto.	Condição: os valores medidos deverão ser ≤ 8 mm, como previsto no Quadro 4.3. A regularidade será avaliada a cada 25 m com uma régua fixa (perfis transversais) ou móvel (perfis longitudinais), com 3 m de comprimento.		A superfície da camada deve apresentar uma macrotextura homogénea, uniforme e isenta de segregações.
	Média > 80% e sem problemas de acumulação de água - [A.C.2]	Média < 80% - [A.C.1]	Média difere em menos de 2% do limite superior especificado, a camada será aceite com [PE2]	Média difere em mais de 2% do limite superior ou é inferior aos valores mínimos - [A.C.1]		A correcção desta propriedade será feita com a execução da camada seguinte	Caso não seja possível compensar na camada seguinte, o Adjudicatário deverá propor uma solução para a rectificação da não conformidade	
JAE / Ascendi - Caderno Encargos Tipo Obra / 15.03.7 - (Portugal) - 1998	Os valores medidos não devem ser inferiores às espessuras de projecto em pelo menos 95% das carotes extraídas. Admite-se uma tolerância de ± 2,0 cm nas restantes carotes.		Os valores medidos em 95% das carotes extraídas deverão respeitar um grau de compactação de 97% referido à baridade da mistura, obtida no Ensaio Marshall.		Superfície desempenada, com perfil transversal livre de defeitos. Não são aceites diferenças > 1,5 cm relativamente aos perfis longitudinal e transversal de projecto.	A uniformidade em perfil será verificada através de uma régua de 3 m fixa ou móvel, devendo os valores medidos respeitar os limites de 1,0 cm para as irregularidades transversais e de 0,8 cm para as irregularidades longitudinais.		---
Brisa - Cláusulas Técnicas Gerais / 2.5.1 - (Portugal) - 2006	Condição: a espessura média obtida não deve ser inferior a 90% da especificada no projecto, não sendo aceites mais que 3 valores individuais aquém do especificado em mais de 10% da espessura de projecto.		Condição: a baridade média medida por extracção de tarolos deve ser ≥ a 97% da baridade do estudo Marshall ou ≥ a 92% da baridade máxima teórica. Não mais que 3 resultados individuais podem apresentar valores inferiores ao estabelecido, além de 2%.		Não são aceites diferenças > 15 mm relativamente aos perfis de projecto. Se esta tolerância for ultrapassada e caso não haja acumulação de água - [A.C.2]. Caso contrário - [A.C.1]. A largura do pavimento será verificada em todos os semiperfis não podendo ser inferior à de projecto.	Condição: o grau de regularidade em perfil será verificado através de uma régua de 3 m fixa (perfil transversal) e móvel (perfil longitudinal), não devendo apresentar irregularidades superiores a 4 mm em cada lote ensaiado.		A superfície da camada executada deve apresentar uma textura uniforme e isenta de segregações.
	Caso contrário - [A.C.1]		Caso contrário - [A.C.1]			Caso contrário - [A.C.1]		
DNIT - DNIT 031/2006-ES - (Brasil) - 2006	Deve ser medida aquando da extracção de carotes ou pelo nivelamento do eixo e dos bordos (antes e depois do espalhamento e compactação da mistura). Condição: admite-se uma variação de ± 5% em relação às espessuras de projecto, tendo em conta a seguinte condição.		Medições realizadas em carotes extraídos aleatoriamente. Condição: não são admitidos GC < 97% ou > 101% em relação à baridade de projecto.		Condição: será realizado um controlo do alinhamento do eixo e dos bordos, admitindo-se desvios de ± 5 cm.	---		---
	Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo especificado e $\bar{X}+k.s \leq$ valor máximo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].		Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo especificado e $\bar{X}+k.s \leq$ valor máximo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].			Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo especificado e $\bar{X}+k.s \leq$ valor máximo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].		
Ministerio de Fomento - PG-3 / art o 542.10 - (Espanha) - 2008	Condição: a espessura média obtida não deve ser inferior à de projecto, não sendo aceites mais que 3 valores individuais, com menos 10% da espessura de projecto.		Condição: A baridade média obtida não deverá ser inferior a 98% da baridade de referência. Não mais que 3 provetes de cada lote podem apresentar resultados abaixo do valor de projecto, em mais de 2%.		A superfície acabada não deverá diferir da teórica em mais de 15 mm, relativamente aos perfis de projecto. A largura será comprovado em todos os semiperfis e nunca poderá ser inferior à de projecto.	O valor do IRI será medido (NLT-330) 24 horas após a execução da camada e antes da execução da camada seguinte. Condição: se os resultados obtidos para o IRI excedem os valores estabelecidos na tabela 542.15 , procede-se da seguinte forma.		A superfície da camada deve apresentar uma macrotextura homogénea, uniforme e isenta de segregações.
	Espessura média > 80% da espessura de projecto e sem problemas de acumulação de água - [A.C.2].	Espessura média < 80% da espessura de projecto - [A.C.1] ou [A.C.3] se não existirem problemas de gabarit ou de sobrecarga da estrutura.	Média ≥ 95% do valor de referência - [PE4]10%.	Média < 95% do valor de referência - [A.C.1].		Se excedem os limites estabelecidos em menos de 10%, em todo o troço controlado - [A.C.3] através de fresagem.	Se excedem os limites estabelecidos em mais de 10%, em todo o troço controlado - [A.C.1] com espessura a definir pela Fiscalização e por conta do Empreiteiro.	
Highways Agency - MCHW / Vol.1 & 2 series 700 & 900 - (Reino Unido) - 2009	Condição: igual à cota de projecto, aceitando-se uma variação de ± 15 mm relativamente à mesma cota. Não mais que uma em dez medições pode exceder as tolerâncias apresentadas, em mais de 5 mm.		Será avaliada, a cada 20 m, a porosidade <i>in-situ</i> (BS 594987) e comparada com os valores de projecto. Condição: o valor médio de quaisquer 6 medições consecutivas não deve exceder 7%.		Os alinhamentos horizontais devem respeitar os valores determinados em projecto, sendo aceite uma variação até 25 mm.	---		---
	Caso contrário - [A.C.1] numa distância mínima de 5 m ou [A.C.2] se tiver espessura menor que a de projecto.		Caso contrário - [A.C.1] em distâncias nunca inferiores a 15 m.					

Quadro A.6 - Camada de ligação/regularização em MBQ

Especificações	Espessura da camada		Porosidade		Regularidade superficial		Macrotextura	
					Controlo topográfico	Regularidade longitudinal e transversal		
EP - Caderno de Encargos Tipo Obra / 15.03.2.7 - (Portugal) - 2009	A camada de regularização não está sujeita a este critério por se admitir que tem uma espessura variável		<u>Condição:</u> valor médio da porosidade do lote tem de se incluir dentro do intervalo de valores especificado no Quadro 4.2, para a camada em avaliação. Não mais que 1 provete de cada lote pode exceder o estabelecido no Quadro 4.2.		Superfície desempenada, com perfil transversal livre de defeitos. Não são aceites diferenças > 15 mm relativamente aos perfis de projecto e as tolerâncias não podem interferir com a espessura total do pavimento. A largura será avaliada a cada 12,5 m, não podendo ser inferior à de projecto.	<u>Condição:</u> os valores medidos deverão ser ≤ 8 mm, como previsto no Quadro 4.3. A regularidade será avaliada a cada 25 m com uma régua fixa (perfis transversais) ou móvel (perfis longitudinais), com 3 m de comprimento.		A superfície da camada deve apresentar uma macrotextura homogénea, uniforme e isenta de segregações.
	Média > 90% e sem problemas de acumulação de água, a camada será aceite com [PE1]	Média < 90% - [A.C.1]. Caso não hajam problemas de gabarit ou de sobrecarga da estruturas - [A.C.3]	Média difere em menos de 2% do limite superior especificado, a camada será aceite com [PE2].	Média difere em mais de 2% do limite superior ou é inferior aos valores mínimos - [A.C.1].		A correcção desta propriedade será feita com a execução da camada seguinte	Caso não seja possível compensar na camada seguinte, o Adjudicatário deverá propor uma solução para a rectificação da não conformidade	
JAE / Ascendi - Caderno Encargos Tipo Obra / 15.03.7 - (Portugal) - 1998	Os valores medidos não devem ser inferiores às espessuras de projecto em pelo menos 95% das carotes extraídas. Admite-se uma tolerância de ± 1,0 cm nas restantes carotes.		Os valores medidos em 95% das carotes extraídas deverão respeitar um grau de compactação de 97% referido à baridade da mistura, obtida no Ensaio Marshall.		Superfície desempenada, com perfil transversal livre de defeitos. Não são aceites diferenças > 1,5 cm relativamente aos perfis longitudinal e transversal de projecto.	A uniformidade em perfil será verificada através de uma régua de 3 m fixa ou móvel, devendo os valores medidos respeitar os limites de 0,8 cm para as irregularidades transversais e de 0,5 cm para as irregularidades longitudinais.		---
Brisa - Cláusulas Técnicas Gerais / 2.5.1 - (Portugal) - 2006	<u>Condição:</u> a espessura média obtida não deve ser inferior a 90% da especificada no projecto, não sendo aceites mais que 3 valores individuais aquém do especificado em mais de 10% da espessura de projecto.		<u>Condição:</u> a baridade média medida por extracção de tarolos deve ser ≥ a 97% da baridade do estudo Marshall ou ≥ a 92% da baridade máxima teórica. Não mais que 3 resultados individuais podem apresentar valores inferiores ao estabelecido, além de 2%.		Não são aceites diferenças > 15 mm relativamente aos perfis de projecto. Se esta tolerância for ultrapassada e caso não haja acumulação de água - [A.C.2]. Caso contrário - [A.C.1]. A largura do pavimento será verificada em todos os semiperfis (a cada 12,5 m) não podendo ser inferior à de projecto.	<u>Condição:</u> o grau de regularidade em perfil será verificado através de uma régua de 3 m fixa (perfil transversal) e móvel (perfil longitudinal), não devendo apresentar irregularidades superiores a 4 mm em cada lote ensaiado.		A superfície da camada executada deve apresentar uma textura uniforme e isenta de segregações.
	Caso contrário - [A.C.1]		Caso contrário - [A.C.1]			Caso contrário - [A.C.1]		
DNIT - DNIT 031/2006-ES - (Brasil) - 2006	Medida pela extracção de carotes ou pelo nivelamento do eixo e dos bordos (antes e depois do espalhamento e compactação da mistura). <u>Condição:</u> admite-se uma variação de ± 5% em relação às espessuras de projecto, tendo em conta a seguinte condição.		Medições realizadas em carotes extraídos aleatoriamente. <u>Condição:</u> não são admitidos GC < 97% ou > 101% em relação à baridade de projecto.		<u>Condição:</u> será realizado um controlo do alinhamento do eixo e dos bordos, admitindo-se desvios de ± 5 cm.	---		---
	Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo especificado e $\bar{X}+k.s \leq$ valor máximo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].		Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo especificado e $\bar{X}+k.s \leq$ valor máximo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].					
Ministerio de Fomento - PG-3 / artº 542 - (Espanha) - 2008	<u>Condição:</u> a espessura média obtida não deve ser inferior à de projecto, não sendo aceites mais que 3 valores individuais, com menos 10% da espessura de projecto.		<u>Condição:</u> A baridade média obtida não deverá ser inferior a 98% (espessura ≥ 6 cm) ou a 97% (espessura < 6 cm) da baridade de referência. Não mais que 3 provetes de cada lote podem apresentar resultados abaixo do valor de projecto, em mais de 2%.		A superfície acabada não deverá diferir da teórica em mais de 10 mm, relativamente aos perfis de projecto. A largura será comprovada em todos os semiperfis e nunca poderá ser inferior à de projecto.	O valor do IRI será medido (NLT-330) a partir das 24 horas após a execução da camada. <u>Condição:</u> se os resultados obtidos para o IRI excedem os valores estabelecidos na tabela 542.15 , procede-se da seguinte forma.		A superfície da camada deve apresentar uma macrotextura homogénea, uniforme e isenta de segregações.
	Espessura média > 90% da espessura de projecto e sem problemas de acumulação de água - [PE4]10%.	Espessura média < 90% da espessura de projecto - [A.C.1] ou [A.C.3] se não existirem problemas de gabarit ou de sobrecarga da estrutura.	Média ≥ 95% do valor de referência - [PE4]10%.	Média < 95% do valor de referência - [A.C.1].		Se excedem os limites estabelecidos em menos de 10%, em todo o troço controlado - [A.C.3] através de fresagem.	Se excedem os limites estabelecidos em mais de 10%, em todo o troço controlado - [A.C.1] com espessura a definir pela Fiscalização e por conta do Empreiteiro.	
Highways Agency - MCHW / Vol.1 & 2 series 700 & 900 - (Reino Unido) - 2009	<u>Condição:</u> igual à cota de projecto, aceitando-se uma variação de ± 6 mm relativamente à mesma cota. Não mais que uma em dez medições pode exceder as tolerâncias apresentadas, em mais de 5 mm.		Será avaliada, a cada 20 m, a porosidade <i>in-situ</i> (BS 594987) e comparada com os valores de projecto. <u>Condição:</u> o valor médio de quaisquer 6 medições consecutivas não deve exceder 7%.		Os alinhamentos horizontais devem respeitar os valores determinados em projecto, sendo aceite uma variação até 25 mm.	<u>Condição:</u> o numero de irregularidades obtidas a cada 300 m para a regularidade longitudinal (medida com a régua móvel), deve ser tal que não exceda o definido na tabela 7/2 . A regularidade transversal será avaliada com uma régua móvel (BS 8420) e não deve exceder os 3 mm.		---
	Caso contrário - [A.C.1] numa distância nunca inferior a 5 m.	Caso contrário - [A.C.1] em distâncias nunca inferiores a 15 m.	Caso contrário - [A.C.1] em toda a largura do pavimento e numa extensão de 300 m, 75 m ou inferior, desde que permita a correcção e validação desta condição.					

Quadro A.7 - Camada de desgaste em MBQ

Especificações	Espessura da camada	Espessura total de misturas betuminosas		Porosidade		Regularidade superficial		Aderência entre camadas	Macrotextura	Coeficiente de atrito
						Controlo topográfico	Regularidade longitudinal e transversal			
CADERNO DE ENCARGOS - ANO	EP - Caderno de Encargos Tipo Obra / 15.03.2.7 - (Portugal) - 2009 Condição: valor médio não deverá ser inferior ao especificado em projecto e não mais de 2 provetes de cada lote (mínimo 5 provetes) poderão ter valores individuais inferiores ao especificado em mais de 10% Média > 92% e sem problemas de acumulação de água, a camada será aceite com [PE1] Média < 92% - [A.C.1]. Caso não hajam problemas de gabarit ou de sobrecarga da estruturas - [A.C.3]	Condição: valor médio será igual ao especificado em projecto e não mais de 2 provetes de cada lote (mínimo 5 provetes) poderão ter valores individuais inferiores ao preconizado em projecto. Será verificada aquando da avaliação da camada de desgaste, por forma a intersectar todas as camadas de misturas betuminosas.		Condição: valor médio da porosidade do lote tem de se incluir dentro do intervalo de valores especificado no Quadro 4.2, para a camada em avaliação. Não mais que 1 provete de cada lote pode exceder o estabelecido no Quadro 4.2.		Superfície desempenada, com perfil transversal livre de defeitos. Não são aceites diferenças > 15 mm relativamente aos perfis de projecto e as tolerâncias não podem interferir com a espessura total do pavimento. A largura será avaliada a cada 12,5 m, não podendo ser inferior à de projecto.	Condição: os valores medidos deverão ser ≤ 4 mm, como previsto no Quadro 4.3. A regularidade será avaliada a cada 25 m com uma régua fixa (perfis transversais) ou móvel (perfis longitudinais), com 3 m de comprimento. O Adjudicatário deverá propor uma solução para a rectificação da não conformidade. Se assim o entender, o Adjudicatário poderá proceder à avaliação da irregularidade da camada por medição em contínuo, com os critérios especificados para IRI apresentados no Quadro A.8 - Caracterização Final do Pavimento.	Não serão aceites os lotes em que as amostras revelem a não existência de colagem ou colagem deficiente entre duas camadas betuminosas, comprovado <i>in situ</i> pelo desprendimento de uma ou mais amostras.	A superfície da camada deve apresentar uma macrotextura homogénea, uniforme e isenta de segregações. Poderá realizar-se o ensaio da mancha de areia (anexo A da ISO 10844:1994) de forma a aferir o valor que irá apresentar na Caracterização Final do Pavimento. Os resultados obtidos deverão respeitar os valores mínimos apresentados no Quadro 4.4, mas tendo em conta que esta avaliação não provoca a rejeição da camada.	Poderá avaliar-se este parâmetro com a realização de ensaios com o pêndulo britânico (EN 13036-4) de forma a aferir o valor que irá apresentar na Caracterização Final do Pavimento. Para tal, os valores medidos deverão ser ≥ 60 BPN, mas tendo em conta que esta avaliação não provoca a rejeição da camada.
		Média $\geq 95\%$ do valor de projecto - [PE4]20% do preço unitário da camada de desgaste.	Média < 95% do valor de projecto - O adjudicatário apresentará para aprovação da fiscalização uma proposta para a resolução da não conformidade.	Média difere em menos de 2% do limite superior especificado, a camada será aceite com [PE2]	Média difere em mais de 2% do limite superior ou é inferior aos valores mínimos - [A.C.1]					
	JAE / Ascendi - Caderno Encargos Tipo Obra / 15.03.7 - (Portugal) - 1998 Os valores medidos não devem ser inferiores às espessuras de projecto em pelo menos 95% das carotes extraídas. Admite-se uma tolerância de $\pm 0,5$ cm nas restantes carotes.	---		Os valores medidos em 95% das carotes extraídas deverão respeitar um grau de compactação de 97% referido à baridade da mistura, obtida no Ensaio Marshall.		Superfície desempenada, com perfil transversal livre de defeitos. Não são aceites diferenças > 1,5 cm relativamente aos perfis longitudinal e transversal de projecto.	A uniformidade em perfil será verificada através de uma régua de 3 m fixa ou móvel, devendo os valores medidos respeitar os limites de 0,5 cm para as irregularidades transversais e de 0,3 cm para as irregularidades longitudinais. Complementarmente devem ser respeitados os valores do IRI, calculados em troços de 100 m, como é indicado no quadro apresentado neste subcapítulo (11.2.3).	---	A superfície da camada deve apresentar uma profundidade mínima de textura superficial, caracterizada pelo ensaio da determinação de altura de areia mínima de acordo com o tipo de mistura betuminosa utilizada, como especificado no quadro do subcapítulo 11.2.4.	Poderá ser medido o coeficiente de atrito pontual (a cada 500 m) com a utilização do pêndulo britânico, devendo apresentar um valor superior a 55 (BPN) após abertura ao tráfego.
	Brisa - Cláusulas Técnicas Gerais / 2.5.1 - (Portugal) - 2006 Condição: a espessura média obtida não deve ser inferior a 100% da especificada no projecto, não sendo aceites mais que 3 valores individuais aquém do especificado em mais de 10% da espessura de projecto. Caso contrário - [A.C.1].	Condição: a espessura total das camadas não deve ser inferior à mínima definida em projecto. Caso contrário e por decisão da fiscalização pode ser aplicada uma camada adicional.		Condição: as baridades medidas por extracção de tarolos devem ser \geq a 98% das baridades do estudo Marshall. No caso do betão betuminoso rugoso a baridade medida deve ser \geq a 96% da baridade obtida no mesmo estudo. Não mais que 3 resultados individuais podem apresentar valores inferiores ao estabelecido, além de 2%. Caso contrário - [A.C.1]		Não são aceites diferenças > 10 mm relativamente aos perfis de projecto. Se esta tolerância for ultrapassada e caso não haja acumulação de água - [A.C.2], caso contrário - [A.C.1]. A largura do pavimento será verificada em todos os semiperfis não podendo ser inferior à de projecto.	Condição: o grau de regularidade em perfil será verificado através de uma régua de 3 m fixa (perfil transversal) e móvel (perfil longitudinal), não devendo apresentar irregularidades superiores a 3 mm por cada lote ensaiado. Não deve apresentar áreas de segregação e/ou com ondulação cíclica de pequeno comprimento de onda, mesmo que inferior a 3,0 m. Caso contrário - [A.C.1]	Não serão aceites os lotes em que se confirme a não aderência entre 2 quaisquer camadas betuminosas, o que levará a [A.C.1].	A superfície da camada executada deve apresentar uma textura uniforme e isenta de segregações e de áreas localizadas com porosidade excessiva. Condição: a textura superficial desta camada será medida através do ensaio da altura de areia e deve ser > a 0,6 mm (betão betuminoso tradicional) ou a 1 mm (betão betuminoso rugoso).	Verificação realizada em contínuo, com recurso a equipamento do tipo SCRIM
DNIT - DNIT 031/2006-ES - (Brasil) - 2006 Deve ser medida aquando da extracção de carotes ou pelo nivelamento do eixo e dos bordos (antes e depois do espalhamento e compactação da mistura). Condição: admite-se uma variação de $\pm 5\%$ em relação às espessuras de projecto, tendo em conta a seguinte condição. Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo especificado e $\bar{X}+k.s \leq$ valor máximo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].	---		Medições realizadas em carotes extraídos aleatoriamente. Condição: não são admitidos GC < 97% ou > 101% em relação à baridade de projecto. Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo especificado e $\bar{X}+k.s \leq$ valor máximo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].		Condição: será realizado um controlo do alinhamento do eixo e dos bordos, admitindo-se desvios de ± 5 cm. Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo de especificado e $\bar{X}+k.s \leq$ valor mínimo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].	Esta característica será avaliada com régua de 3,00 m e de 1,20 m, colocadas perpendicular e paralelamente ao eixo da estrada, respectivamente. Condição: a variação da superfície entre dois pontos quaisquer de contacto não deve exceder 0,5 cm, quando verificada com qualquer das régua.	---	Os locais sujeitos a esta avaliação serão escolhidos de forma aleatória, segundo o Plano de Qualidade. Condição: será avaliada a Altura de Areia (NF P-98-216-7), devendo-se obter valores no intervalo de 0,60 até 1,20 mm. Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo especificado e $\bar{X}+k.s \leq$ valor máximo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].	Os locais sujeitos a esta avaliação serão escolhidos de forma aleatória, segundo o Plano de Qualidade. Condição: a camada de desgaste deve apresentar BPN ≥ 55 quando medido com o pêndulo britânico (ASTM-E 303). Se $\bar{X}-k.s \geq$ valor mínimo especificado e $\bar{X}+k.s \leq$ valor máximo especificado, aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].	

Quadro A.7 (cont.) - Camada de desgaste em MBQ

Especificações	Espessura da camada	Espessura total de misturas betuminosas	Porosidade		Regularidade superficial		Aderência entre camadas	Macrotextura	Coeficiente de atrito	
					Controlo topográfico	Regularidade longitudinal e transversal				
Ministerio de Fomento - PG-3 / art °542 e 543 - (Espanha) - 2008	<p>Condição: a espessura média obtida não deve ser inferior à de projecto, não sendo aceites mais que 3 valores individuais, com menos 10% da espessura de projecto.</p>	---	<p>Condição: A baridade média obtida não deverá ser inferior a 97% da baridade de referência. Não mais que 3 provetes de cada lote podem apresentar resultados abaixo do valor de projecto, em mais de 2%.</p>		<p>A superfície acabada não deverá diferir da teórica em mais de 10 mm, relativamente aos perfis de projecto. A largura será comprovada em todos os semiperfis e nunca poderá ser inferior à de projecto.</p>	<p>O valor do IRI será medido (NLT-330) a partir das 24 horas após a execução da camada. Condição: se os resultados obtidos para o IRI excedem os valores estabelecidos na tabela 542.15, procede-se da seguinte forma.</p>		---	<p>A superfície da camada deve apresentar uma macrotextura homogénea, uniforme e isenta de segregações. O valor mínimo a registar-se para o ensaio da mancha de areia será de 0,7 mm. Será avaliada antes da entrada em serviço do pavimento, como descrito em Caracterização Final do Pavimento.</p>	<p>Será avaliado 2 meses após a entrada em serviço do pavimento, como descrito em Caracterização Final do Pavimento.</p>
	<p>Se a espessura média < espessura de projecto - [A.C.1] ou [A.C.3] se não existirem problemas de gabarit ou de sobrecarga da estrutura.</p>		<p>Média ≥ 95% do valor de referência - [PE4]10%.</p>	<p>Média < 95% do valor de referência - [A.C.1].</p>		<p>Se excedem os limites estabelecidos em menos de 10%, para toda a extensão da obra - [A.C.3] através de fresagem.</p>	<p>Se excedem os limites estabelecidos em mais de 10%, para toda a extensão da obra - [A.C.1] com espessura a definir pela Fiscalização e por conta do Adjudicatário.</p>			
Highways Agency - MCHW / Vol.1 & 2 series 700 & 900 - (Reino Unido) - 2009	<p>Condição: igual à cota de projecto, aceitando-se uma variação de ± 6 mm relativamente à mesma cota. Nenhum valor medido pode exceder a tolerância apresentada.</p>	<p>As tolerâncias permitidas para cada camada não devem dar origem a uma redução da espessura total das camadas betuminosas superior a 15 mm nem a uma redução da espessura da camada de desgaste superior a 5 mm, em relação às espessuras definidas em projecto.</p>	<p>A compactação de misturas betuminosas deve estar de acordo com a norma BS 594987 (BSI, 2007), que refere a seguinte condição. Condição: a porosidade não deve ser superior a 7,5% para um par de carotes extraídos consecutivamente nem superior a 5,5% para a média de seis determinações consecutivas</p>		<p>Os alinhamentos horizontais devem respeitar os valores determinados em projecto, sendo aceite uma variação até 25 mm.</p>	<p>Condição: o número de irregularidades obtidas a cada 300 m para a regularidade longitudinal (medida com a régua móvel), deve ser tal que não exceda o definido na tabela 7/2. A regularidade transversal será avaliada com uma régua móvel (BS 8420) e não deve exceder os 3 mm.</p>		---	<p>A macrotextura inicial será avaliada pelo ensaio da mancha de areia (BS EN 13036-1), através de 10 medições individuais com um espaçamento de 5 m e na diagonal da faixa de rodagem. Pelo menos uma sessão de medições será realizada a cada 250 m. Condição: a média das 10 medições e a média obtida para cada troço de 1000 m, não será inferior ao especificado na tabela 9/3.</p>	---
	<p>Caso contrário - [A.C.1] numa distância nunca inferior a 15 m.</p>		<p>Caso contrário - [A.C.1] em distâncias nunca inferiores a 15 m.</p>			<p>Caso contrário - [A.C.1] em toda a largura do pavimento e numa extensão de 300 m, 75 m ou inferior, desde que permita a correcção e validação desta condição.</p>	<p>Caso contrário - [A.C.1] em toda a largura de troços com 50 m de extensão, começando pelo troço com menor valor obtido até que a condição possa ser cumprida.</p>			

Quadro A.8 - Caracterização Final do Pavimento (CFP)

Especificações	Índice de Irregularidade Internacional - IRI			Macrotextura superficial		Coeficiente de atrito		Capacidade estrutural		
CADERNO DE ENCARGOS - ANO	EP - Caderno de Encargos Tipo Obra / 15.03.2.7 - (Portugal) - 2009	Medição deverá proceder-se em contínuo, ao longo da rodeira externa ou das duas rodeiras, com equipamentos munidos de sensores tipo <i>laser</i> ou APL. O valor médio ao longo de 100 m será o representativo de cada troço. (1 lote tem 5 troços). <u>Condição:</u> os resultados do IRI de cada lote ou fracção têm de respeitar os valores definidos no Quadro 4.5, aos quais se aplicará a classificação apresentada no Quadro 4.6.			Medição em contínuo da MPD (NP ISO 13473-1) da camada de desgaste, com equipamentos tipo <i>laser</i> , ao longo da rodeira externa de cada uma das vias construídas. <u>Condição:</u> o valor médio do ensaio não será inferior ao valor preconizado no Quadro 4.7. Apenas um valor médio individual (100 m) por lote (500 m) poderá apresentar um resultado inferior em mais de 25% àquele valor.		Medição realizada em contínuo, com equipamentos do tipo <i>SCRIM</i> ou <i>GRIP TESTER</i> , a 50km/h e com uma película de água com 0,5 mm de espessura. <u>Condição:</u> o valor médio por lote não poderá ser inferior a 0,5 e 0,6, respectivamente. Apenas um valor médio individual (100 m) por lote (500 m) poderá apresentar um resultado < 10% do valor mínimo estabelecido.		Medição realizada através de ensaios com o Deflectómetro de Impacto (FWD) segundo os requisitos indicados. Elaboração de um relatório de interpretação e análise de resultados. <u>Condição:</u> em cada trecho homogéneo (definido em relatório), o valor médio estimado para a vida restante no final do período de dimensionamento não será inferior ao valor considerado no Projecto de Execução.	
		Se os resultados obtidos excederem os limites definidos no Quadro 4.5 até 10%, o pavimento será aceite com [PE2].	Se os resultados obtidos excederem os limites definidos no Quadro 4.5 em 10% - [A.C.1].	Para camadas de desgaste drenantes, se os resultados obtidos excederem os limites definidos no Quadro 4.5 - [A.C.1].	Média lote $\geq 90\%$ do valor preconizado, a camada será aceite com [PE2].	Média lote < 90% do valor preconizado - [A.C.1].	Média lote > 95% do valor preconizado, a camada será aceite com uma penalização económica de 20% do preço unitário da camada.	Média lote $\leq 95\%$ do valor preconizado - [A.C.1]	Valor médio > 90% do valor de projecto - [PE3]	Valor médio $\leq 90\%$ do valor de projecto, o pavimento será removido, o material levado a vazadouro e executada uma nova estrutura de pavimentação por conta do adjudicatário.
	JAE / Ascendi - Caderno Encargos Tipo Obra / 14.00.5 e 15.03.7 - (Portugal) - 1998	Realização de duas campanhas de medição em contínuo do IRI com recurso a equipamentos munidos de <i>laser</i> ou tipo APL. A primeira campanha será após a conclusão dos trabalhos sobre o pavimento, antes da recepção provisória. A segunda campanha decorrerá no final do período de garantia, elaborando-se um relatório com a evolução deste parâmetro. <u>Condição:</u> os valores obtidos para as extensões de 50%, 80% e 100% da obra construída devem ser iguais ou inferiores a 1,5; 2,5 e 3,0 m/km, respectivamente, para a camada de desgaste.			Medição em contínuo da profundidade de textura da camada de desgaste, com recurso a equipamentos tipo <i>laser</i> . Os resultados serão comparados com os obtidos no ensaio da mancha de areia.		Quando medido em contínuo com o aparelho <i>SCRIM</i> , o valor não deverá ser inferior a 0,40 (para medições a 50 km/h) ou a 0,20 (para medições a 120 km/h).		Avaliado através de ensaios de carga efectuados com viga Benkelman ou Deflectómetro de Impacto (FWD). Elaboração de relatório contendo uma análise comparativa com os pressupostos de projecto.	
	Brisa - Cláusulas Técnicas Gerais - (Portugal) - 2006	<u>Condição:</u> análise realizada a partir de medições de 10 em 10 m. Este estudo deve ainda ser complementado com outra análise a efectuar em extensões de 100 m, escolhendo para o efeito as que apresentarem maiores valores de IRI. As tolerâncias a respeitar para as percentagens 50%, 80% e 100% do lote são 1,5; 1,8 e 2,0 m/km, respectivamente			Devem ser utilizados equipamentos munidos de <i>laser</i> para medição da MPD e comparação com os valores obtidos para a MTD (mancha de areia, a cada 200 m), respeitando os valores apresentados anteriormente para a camada de desgaste.		<u>Condição:</u> esta avaliação será realizada 3 meses após a abertura ao tráfego, dividida em lotes de 1000 m, com o aparelho de medição contínua do tipo <i>SCRIM</i> , a 50 km/h. O valor medido não deverá ser inferior a 0,50.		---	
		Caso contrário - [A.C.1]								
	DNIT - DNIT 031/2006-ES - (Brasil) - 2006	Medição realizada com aparelhos do tipo resposta ou outro dispositivo equivalente para esta finalidade. <u>Condição:</u> o Quociente de Irregularidade (QI) deve apresentar um valor ≤ 35 contagens/km (IRI $\leq 2,7$ m/km).			---		---		---	
		Se $\bar{X} + k.s \leq$ valor máximo especificado aceita-se o serviço (ver fórmula). Caso contrário - [A.C.3] ou [A.C.1].								
Ministerio de Fomento - PG-3 / art 542 - (Espanha) - 2008	O valor do IRI será medido (NLT-330) antes da entrega provisória da obra. Deverá apresentar, para uma extensão de 50%, 80% e 100% do lote, valores não superiores a 1,5, 1,8 e 2,0 m/km (para Auto-Estradas) e 1,5, 2,0 e 2,5 m/km (para as restantes vias), respectivamente. <u>Condição:</u> se os resultados obtidos para o IRI excedem os valores estabelecidos, procede-se da seguinte forma.			Antes da entrada em serviço do pavimento, será avaliada a altura de areia (EN 13036-1) da camada. Serão realizadas medições em 5 pontos aleatórios por forma a que haja no mínimo 1 valor por cada 100 m. <u>Condição:</u> o valor médio obtido deverá ser \geq a 0,7 mm. Não mais que 1 valor poderá ser < que 0,525 mm (75% de 0,7 mm).		Ensaio realizado com equipamento do tipo <i>SCRIM</i> (NLT-336), 2 meses após a entrada em serviço do pavimento. <u>Condição:</u> o valor médio obtido deverá ser \geq que 65% de CRT. Admite-se que até 5% do comprimento avaliado pode apresentar valores até 60%.		---		
	Se excedem os limites estabelecidos em menos de 10%, para toda a extensão da obra - [A.C.3] através de fresagem.	Se excedem os limites estabelecidos em mais de 10%, para toda a extensão da obra - [A.C.1] com espessura a definir pela Fiscalização e por conta do Adjudicatário.		Se média obtida $\geq 90\%$ do valor preconizado, a camada será aceite com [PE4]10%.	Se média obtida < 90% do valor preconizado, será aplicada uma nova camada.	Se média obtida $\geq 90\%$ do valor preconizado, a camada será aceite com [PE4]10%.	Se média obtida < 90% do valor preconizado, será aplicada uma nova camada sobre a rejeitada.			
Highways Agency - (Reino Unido)	Não apresenta dados para este tipo de caracterização									

ANEXO B - Avaliação da Vida Útil do Pavimento

Quadro B.1 - Cálculo da vida útil dum pavimento com variação da espessura

Situação	Espessura das Camadas (cm)					Fadiga			Deformação Permanente			Dano Maior (%)	Vida Restante aos 20 anos (%)	Perda de Vida (relativa, %)	Vida Restante aos 20 anos (anos)	Perda de Vida (relativa, anos)
	Sub-base granular	Base AC 20	Ligação AC 20	Desgaste AC 14	Total MB	ϵ_r (10^{-6})	N_{adm}^{130}	Dano (%)	ϵ_{dp} (10^{-6})	N_{adm}^{130}	Dano (%)					
Projecto	20,0	12,0	7,0	5,0	24,0	137	8.975.824	64,62	336	8.236.314	70,42	70,42	29,58	-	5,92	-
Variação Ligação	20,0	12,0	6,8	5,0	23,8	138	8.655.293	67,01	340	7.855.509	73,83	73,83	26,17	-3,41	5,23	-0,68
	20,0	12,0	6,6	5,0	23,6	140	8.054.471	72,01	343	7.584.266	76,47	76,47	23,53	-6,05	4,71	-1,21
	20,0	12,0	6,4	5,0	23,4	141	7.772.874	74,62	347	7.240.559	80,10	80,10	19,90	-9,68	3,98	-1,94
Variação Desgaste	20,0	12,0	7,0	4,9	23,9	138	8.655.293	67,01	338	8.043.095	72,11	72,11	27,89	-1,69	5,58	-0,34
	20,0	12,0	7,0	4,8	23,8	138	8.655.293	67,01	340	7.855.509	73,83	73,83	26,17	-3,41	5,23	-0,68
	20,0	12,0	7,0	4,7	23,7	139	8.348.399	69,47	341	7.763.767	74,71	74,71	25,29	-4,29	5,06	-0,86
Variação Combinada (Ligação + Desgaste)	20,0	12,0	6,8	4,9	23,7	139	8.348.399	69,47	341	7.763.767	74,71	74,71	25,29	-4,29	5,06	-0,86
	20,0	12,0	6,8	4,8	23,6	140	8.054.471	72,01	343	7.584.266	76,47	76,47	23,53	-6,05	4,71	-1,21
	20,0	12,0	6,8	4,7	23,5	141	7.772.874	74,62	345	7.409.922	78,27	78,27	21,73	-7,85	4,35	-1,57
	20,0	12,0	6,6	4,9	23,5	141	7.772.874	74,62	345	7.409.922	78,27	78,27	21,73	-7,85	4,35	-1,57
	20,0	12,0	6,6	4,8	23,4	141	7.772.874	74,62	347	7.240.559	80,10	80,10	19,90	-9,68	3,98	-1,94
	20,0	12,0	6,6	4,7	23,3	142	7.503.009	77,30	349	7.076.008	81,97	81,97	18,03	-11,55	3,61	-2,31
Variação Combinada (Ligação + Desgaste)	20,0	12,0	6,4	4,9	23,3	142	7.503.009	77,30	349	7.076.008	81,97	81,97	18,03	-11,55	3,61	-2,31
	20,0	12,0	6,4	4,8	23,2	143	7.244.310	80,06	351	6.916.105	83,86	83,86	16,14	-13,44	3,23	-2,69
	20,0	12,0	6,4	4,7	23,1	144	6.996.240	82,90	353	6.760.693	85,79	85,79	14,21	-15,37	2,84	-3,07

Quadro B.2 - Comparação da penalização aplicada em função da espessura com a perda de vida útil

Situação	Espessura das Camadas (cm)				Penalização Económica (%)				Penalização Económica (€)				Perda de Vida (Relativa, %)
	AC20 base	AC20 bin	AC14 surf	Total MB	AC20 bin	AC14 surf	Total MB	Σ	AC20 bin	AC14 surf	Total MB	Σ	
Projecto	12,0	7,0	5,0	24,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	-
Variação Ligação	12,0	6,8	5,0	23,8	22,86	0,00	20,00	21,76	6.400	0	3.500	9.900	-3,41
	12,0	6,6	5,0	23,6	25,71	0,00	20,00	23,52	7.200	0	3.500	10.700	-6,05
Variação Desgaste	12,0	6,4	5,0	23,4	28,57	0,00	20,00	25,27	8.000	0	3.500	11.500	-9,68
	12,0	7,0	4,9	23,9	0,00	22,00	20,00	16,15	0	3.850	3.500	7.350	-1,69
Variação Combinada (Ligação + Desgaste)	12,0	7,0	4,8	23,8	0,00	24,00	20,00	16,92	0	4.200	3.500	7.700	-3,41
	12,0	7,0	4,7	23,7	0,00	26,00	20,00	17,69	0	4.550	3.500	8.050	-4,29
	12,0	6,8	4,9	23,7	22,86	22,00	20,00	30,22	6.400	3.850	3.500	13.750	-4,29
	12,0	6,8	4,8	23,6	22,86	24,00	20,00	30,99	6.400	4.200	3.500	14.100	-6,05
	12,0	6,8	4,7	23,5	22,86	26,00	20,00	31,76	6.400	4.550	3.500	14.450	-7,85
	12,0	6,6	4,9	23,5	25,71	22,00	20,00	31,98	7.200	3.850	3.500	14.550	-7,85
	12,0	6,6	4,8	23,4	25,71	24,00	20,00	32,75	7.200	4.200	3.500	14.900	-9,68
	12,0	6,6	4,7	23,3	25,71	26,00	20,00	33,52	7.200	4.550	3.500	15.250	-11,55
	12,0	6,4	4,9	23,3	28,57	22,00	20,00	33,74	8.000	3.850	3.500	15.350	-11,55
	12,0	6,4	4,8	23,2	28,57	24,00	20,00	34,51	8.000	4.200	3.500	15.700	-13,44
	12,0	6,4	4,7	23,1	28,57	26,00	20,00	35,27	8.000	4.550	3.500	16.050	-15,37

Quadro B.3 - Cálculo da vida útil dum pavimento com variação do módulo de rigidez

Situação	N _{dim 130}	Módulo de Rigidez (MPa)		Fadiga			Deformação Permanente			Dano Maior (%)	Vida Restante aos 20 anos (%)	Perda de Vida (relativa, %)	Vida Restante aos 20 anos (anos)	Perda de Vida (relativa, anos)
		AC20 (Base)	AC14 (Desgaste)	ϵ_t (10 ⁻⁶)	N _{adm 130}	Dano (%)	ϵ_{dp} (10 ⁻⁶)	N _{adm 130}	Dano (%)					
Classe Tráfego T5; Sub-base granular (20 cm) + Base AC 20 (4 cm) + Desgaste AC 14 (4 cm)	1,2x10 ⁶	4000	4000	190	1.749.481	68,59	478	2.010.844	59,68	68,59	31,41	-	6,28	-
	1,2x10 ⁶	4000	3600	191	1.704.160	70,42	486	1.881.676	63,77	70,42	29,58	-1,82	5,92	-0,36
	1,2x10 ⁶	4000	3200	193	1.617.673	74,18	494	1.762.716	68,08	74,18	25,82	-5,59	5,16	-1,12
	1,2x10 ⁶	3600	4000	200	1.636.405	73,33	491	1.806.193	66,44	73,33	26,67	-4,74	5,33	-0,95
	1,2x10 ⁶	3600	3600	202	1.556.983	77,07	498	1.706.761	70,31	77,07	22,93	-8,48	4,59	-1,70
	1,2x10 ⁶	3600	3200	204	1.482.142	80,96	506	1.601.356	74,94	80,96	19,04	-12,37	3,81	-2,47
	1,2x10 ⁶	3200	4000	212	1.511.597	79,39	504	1.626.926	73,76	79,39	20,61	-10,79	4,12	-2,16
	1,2x10 ⁶	3200	3600	214	1.442.269	83,20	512	1.527.602	78,55	83,20	16,80	-14,61	3,36	-2,92
	1,2x10 ⁶	3200	3200	215	1.409.039	85,16	520	1.435.743	83,58	85,16	14,84	-16,57	2,97	-3,31
	1,2x10 ⁶	4000	4000	137	8.975.824	64,62	336	8.236.314	70,42	70,42	29,58	-	5,92	-
Classe Tráfego T3; Sub-base granular (20 cm) + Base AC 20 (19 cm) + Desgaste AC 14 (5 cm)	5,8x10 ⁶	4000	3600	138	8.655.293	67,01	341	7.763.767	74,71	74,71	25,29	-4,29	5,06	-0,86
	5,8x10 ⁶	4000	3200	140	8.054.471	72,01	347	7.240.559	80,10	80,10	19,90	-9,68	3,98	-1,94
	5,8x10 ⁶	3600	4000	145	8.169.597	70,99	347	7.240.559	80,10	80,10	19,90	-9,68	3,98	-1,94
	5,8x10 ⁶	3600	3600	147	7.628.761	76,03	352	6.837.847	84,82	84,82	15,18	-14,40	3,04	-2,88
	5,8x10 ⁶	3600	3200	148	7.374.492	78,65	358	6.390.840	90,75	90,75	9,25	-20,34	1,85	-4,07
	5,8x10 ⁶	3200	4000	155	7.235.303	80,16	359	6.319.929	91,77	91,77	8,23	-21,35	1,65	-4,27
	5,8x10 ⁶	3200	3600	156	7.006.356	82,78	365	5.914.507	98,06	98,06	1,94	-27,64	0,39	-5,53
	5,8x10 ⁶	3200	3200	158	6.574.001	88,23	371	5.541.080	104,67	104,67	-4,67	-34,25	-0,93	-6,85
	5,8x10 ⁶	4000	4000	112	24.580.294	58,99	273	18.899.026	76,72	76,72	23,28	-	4,66	-
	5,8x10 ⁶	4000	3600	114	22.498.467	64,45	278	17.575.627	82,50	82,50	17,50	-5,78	3,50	-1,16
Classe Tráfego T1; Sub-base granular (20 cm) + Base AC 20 (22 cm) + Desgaste AC 14 (6 cm)	14,5x10 ⁶	4000	3200	115	21.537.138	67,33	283	16.366.065	88,60	88,60	11,40	-11,87	2,28	-2,37
	14,5x10 ⁶	3600	4000	119	21.943.498	66,08	283	16.366.065	88,60	88,60	11,40	-11,87	2,28	-2,37
	14,5x10 ⁶	3600	3600	121	20.188.954	71,82	288	15.258.789	95,03	95,03	4,97	-18,30	0,99	-3,66
	14,5x10 ⁶	3600	3200	122	19.374.991	74,84	293	14.243.592	101,80	101,80	-1,80	-25,08	-0,36	-5,02
	14,5x10 ⁶	3200	4000	127	19.592.804	74,01	294	14.050.789	103,20	103,20	-3,20	-26,47	-0,64	-5,29
	14,5x10 ⁶	3200	3600	129	18.120.353	80,02	299	13.134.250	110,40	110,40	-10,40	-33,67	-2,08	-6,73
	14,5x10 ⁶	3200	3200	130	17.434.056	83,17	304	12.291.240	117,97	117,97	-17,97	-41,25	-3,59	-8,25

ANEXO C - Dados para o Caso de Estudo

Quadro C.1 - Porosidade e Espessura médias para a camada de ligação

Lote	PK inicial	PK final	Mistura	PK carote	Porosidade individual (%)	Porosidade média (%)	Espessura individual (m)	Espessura média (m)
1	0+000	0+500	AC32	0+025	6,1	5,6	0,128	0,123
				0+025	5,9		0,130	
				0+075	4,7		0,125	
				0+075	5,1		0,120	
				0+125	5,9		0,115	
				0+125	6,1		0,118	
2	0+501	1+000	AC32	0+900	7,6	7,6	0,117	0,117
3	1+001	1+500	AC32	1+100	7,9	7,6	0,126	0,124
				1+300	7,0		0,112	
				1+500	7,9		0,135	
4	1+501	2+000	AC32	1+600	5,8	6,7	0,116	0,113
				1+700	7,9		0,114	
				1+800	5,1		0,109	
				1+900	7,9		0,112	
				1+975	6,9		0,112	
5	2+001	2+500	AC32	2+075	6,2	6,6	0,100	0,116
				2+075	6,1		0,099	
				2+175	6,3		0,131	
				2+200	6,9		0,128	
				2+300	7,8		0,121	
				2+400	5,8		0,116	
				2+500	6,8		0,116	
6	2+501	3+000	AC32	2+600	5,5	6,8	0,119	0,119
				2+700	7,5		0,119	
				2+800	6,7		0,127	
				2+900	6,7		0,124	
				2+950	7,8		0,104	
7	3+001	3+600	AC32	3+050	7,0	6,3	0,101	0,099
				3+150	6,0		0,103	
				3+250	7,4		0,100	
				3+350	7,8		0,092	
				3+450	3,7		0,100	
				3+550	5,7		0,096	
8	3+601	4+100	AC20	3+650	7,0	6,5	0,100	0,106
				3+750	5,2		0,106	
				3+850	6,8		0,108	
				3+950	6,2		0,105	
				4+050	7,2		0,110	
9	4+101	4+600	AC32	4+150	8,3	7,4	0,117	0,116
				4+250	7,5		0,103	
				4+350	6,6		0,128	
				4+450	8,4		0,120	
				4+550	6,0		0,111	
10	4+601	5+100	AC32	4+650	5,3	6,4	0,116	0,115
				4+850	7,5		0,115	
				5+050	6,4		0,114	
11	5+101	5+600	AC32	5+250	5,7	6,0	0,103	0,111
				5+450	7,3		0,113	
				5+550	5,1		0,117	
12	5+601	6+100	AC32	5+750	7,8	6,5	0,127	0,117
				5+950	4,1		0,124	
				6+025	7,5		0,101	

Quadro C.2 - Compactação, Porosidade e Espessura médias para a camada de desgaste

Lote	PK inicial	PK final	PK carote	Compactação Relativa (%)	Porosidade individual (%)	Porosidade média (%)	Espessura individual (m)	Espessura média (m)
1	0+000	0+500	0+025	99,4	5,2	7,8	0,045	0,051
			0+025	94,8	9,9		0,040	
			0+150	96,5	8,0		0,040	
			0+150	94,9	9,8		0,045	
			0+350	96,8	7,6		0,050	
			0+350	97,3	7,6		0,055	
			0+375	97,5	6,9		0,053	
			0+500	98,1	7,1		0,065	
2	0+501	1+000	0+500	97,5	7,7	7,0	0,065	0,049
			0+525	96,4	8,0		0,049	
			0+550	98,2	6,3		0,040	
			0+550	97,2	7,7		0,050	
			0+750	97,6	7,3		0,055	
3	1+001	1+500	0+950	99,5	5,5	7,8	0,053	0,057
			1+150	99,4	6,0		0,044	
			1+350	95,9	9,3		0,045	
			1+500	98,0	7,3		0,070	
4	1+501	2+000	1+500	96,7	8,4	8,3	0,070	0,046
			1+550	98,2	7,2		0,050	
			1+750	95,5	9,7		0,040	
5	2+001	2+500	1+950	97,2	8,1	8,3	0,048	0,054
			2+150	98,3	7,0		0,050	
			2+162	97,0	8,3		0,050	
			2+350	95,8	9,4		0,040	
			2+500	96,7	8,5		0,065	
6	2+501	3+000	2+500	96,7	8,5	7,3	0,065	0,046
			2+550	96,2	9,0		0,045	
			2+750	98,6	6,2		0,045	
			2+950	96,4	8,2		0,040	
7	3+001	3+500	2+950	98,7	5,6	7,3	0,055	0,047
			3+050	97,7	7,0		0,045	
			3+150	97,9	6,8		0,047	
			3+250	96,7	8,0		0,045	
			3+350	98,0	6,8		0,047	
			3+450	98,6	6,1		0,046	
8	3+501	4+000	3+500	96,1	9,1	7,6	0,053	0,052
			3+550	97,1	7,6		0,050	
			3+550	96,7	7,5		0,050	
			3+650	95,4	9,2		0,047	
			3+750	96,3	8,3		0,051	
			3+750	94,9	9,2		0,051	
			3+750	98,9	7,1		0,054	
			3+850	100,7	3,8		0,055	
9	4+001	4+500	3+950	97,8	8,1	6,3	0,055	0,058
			4+050	99,4	5,0		0,060	
			4+150	96,5	9,3		0,056	
			4+250	99,8	4,6		0,057	
			4+350	98,8	5,6		0,058	
			4+450	98,0	6,3		0,050	
			4+500	98,0	7,2		0,065	

Quadro C.2 (cont.) - Porosidade e Espessura médias para a camada de desgaste

Lote	PK inicial	PK final	PK carote	Compactação Relativa (%)	Porosidade individual (%)	Porosidade média (%)	Espessura individual (m)	Espessura média (m)
10	4+501	5+000	4+550	97,4	6,9	7,2	0,050	0,048
			4+650	95,8	8,4		0,050	
			4+750	98,1	6,2		0,050	
			4+850	96,9	7,5		0,045	
			4+950	97,5	6,9		0,045	
11	5+001	5+500	5+050	97,3	7,0	6,5	0,050	0,054
			5+150	98,7	6,0		0,052	
			5+250	98,2	6,5		0,050	
			5+350	98,8	5,9		0,050	
			5+450	98,9	5,9		0,048	
			5+500	97,5	7,7		0,075	
12	5+501	6+100	5+550	99,6	5,2	7,1	0,052	0,060
			5+650	95,4	9,2		0,060	
			5+750	97,1	8,0		0,065	
			5+850	98,5	6,2		0,052	
			5+950	98,3	6,8		0,070	

Quadro C.3 - Valores de IRI calculados por troços de 100 m no IC5 - Lote 6.1, no sentido crescente entre os PK 0+190 e 5+690 (Consulstrada, 2010a)

km	IRI (m/km)			km	IRI (m/km)		
	Rod. Esq.	Rod. Dir.	Média		Rod. Esq.	Rod. Dir.	Média
0+190	0,84	0,86	0,85	3+090	0,93	0,79	0,86
0+290	0,60	0,72	0,66	3+190	0,67	0,78	0,72
0+390	0,84	0,81	0,82	3+290	0,86	0,88	0,87
0+490	1,04	1,18	1,11	3+390	0,90	0,88	0,89
0+590	1,00	0,90	0,95	3+490	0,93	0,85	0,89
0+690	1,16	1,03	1,09	3+590	0,63	0,64	0,64
0+790	1,20	1,63	1,41	3+690	0,58	0,58	0,58
0+890	1,11	1,18	1,14	3+790	1,15	1,12	1,14
0+990	0,93	0,87	0,90	3+890	0,71	0,89	0,80
1+090	1,16	0,74	0,95	3+990	0,73	0,74	0,74
1+190	0,85	0,82	0,83	4+090	0,70	0,80	0,75
1+290	0,74	0,77	0,75	4+190	0,79	0,97	0,88
1+390	1,06	1,16	1,11	4+290	0,72	0,90	0,81
1+490	0,85	0,76	0,80	4+390	1,10	1,04	1,07
1+590	0,96	1,02	0,99	4+490	0,64	0,84	0,74
1+690	0,98	0,95	0,96	4+590	0,65	0,84	0,74
1+790	1,00	1,02	1,01	4+690	0,81	1,08	0,95
1+890	0,97	0,96	0,96	4+790	1,01	1,06	1,04
1+990	1,03	1,10	1,06	4+890	0,92	1,10	1,01
2+090	1,08	1,01	1,04	4+990	0,74	0,82	0,78
2+190	0,94	1,06	1,00	5+090	0,97	0,96	0,97
2+290	0,64	0,74	0,69	5+190	0,81	0,87	0,84
2+390	0,86	0,77	0,82	5+290	0,97	0,80	0,89
2+490	0,79	0,76	0,77	5+390	0,71	0,78	0,75
2+590	0,77	0,71	0,74	5+490	1,36	1,60	1,48
2+690	0,84	0,86	0,85	5+590	1,43	1,54	1,48
2+790	1,04	0,95	0,99	5+690	1,41	1,76	1,59
2+890	0,82	0,83	0,83	---			
2+990	0,74	0,90	0,82				

Quadro C.4 - Valores da MPD (Consulstrada, 2010a)

Identificação		MPD (mm)		Identificação		MPD (mm)	
Lote	PK	Individual	Média	Lote	PK	Individual	Média
1	0+190	0,67	0,65	7	3+190	0,56	0,62
	0+290	0,69			3+290	0,62	
	0+390	0,65			3+390	0,65	
	0+490	0,63			3+490	0,66	
	0+590	0,63			3+590	0,60	
2	0+690	0,72	0,68	8	3+690	0,67	0,68
	0+790	0,72			3+790	0,65	
	0+890	0,67			3+890	0,59	
	0+990	0,62			3+990	0,73	
	1+090	0,68			4+090	0,77	
3	1+190	0,68	0,64	9	4+190	0,62	0,60
	1+290	0,67			4+290	0,61	
	1+390	0,64			4+390	0,58	
	1+490	0,61			4+490	0,60	
	1+590	0,62			4+590	0,60	
4	1+690	0,68	0,66	10	4+690	0,64	0,62
	1+790	0,65			4+790	0,61	
	1+890	0,73			4+890	0,58	
	1+990	0,66			4+990	0,61	
	2+090	0,59			5+090	0,66	
5	2+190	0,66	0,67	11	5+190	0,63	0,66
	2+290	0,70			5+290	0,62	
	2+390	0,67			5+390	0,61	
	2+490	0,64			5+490	0,68	
	2+590	0,70			5+590	0,74	
6	2+690	0,66	0,64	12	5+690	0,73	---
	2+790	0,72			---		
	2+890	0,64			---		
	2+990	0,59			---		
	3+090	0,59			---		

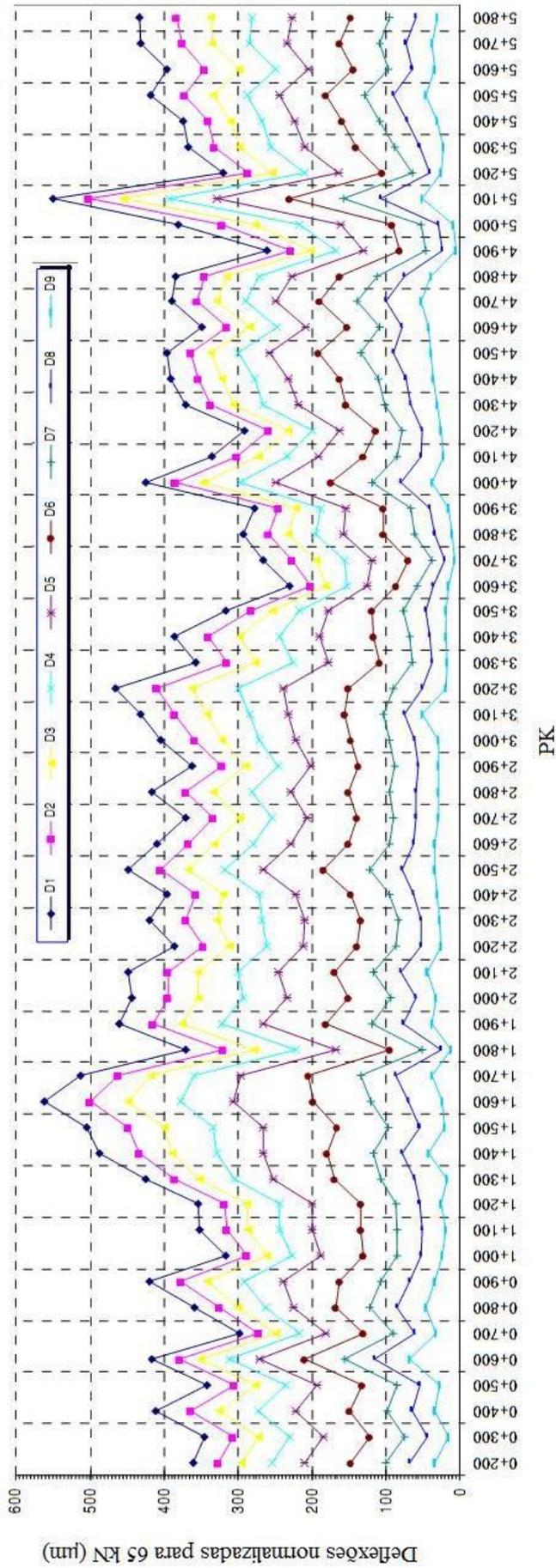


Figura C.1 - Evolução das 9 deflexões normalizadas para uma força de 65 kN, na plena via (Consultstrada, 2010b)