

CONSIDERAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SERVIÇO NA FORMULAÇÃO DE MISTURAS BETUMINOSAS – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO DO PAVIMENTO

Dinis Gardete¹, Luís Picado-Santos² e Silvino Capitão³

¹Instituto Politécnico de Castelo Branco, UTC Eng.^a Civil – Castelo Branco, Portugal

email: dgardete@ipcb.pt <https://www.ipcb.pt/>

²CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, IST – Lisboa, Portugal

³CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal & Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal

Sumário

Neste trabalho, utilizando os resultados da caracterização laboratorial de uma mistura betuminosa AC20, analisa-se como a sua formulação pode contribuir para um melhor desempenho do pavimento. Esta análise é realizada avaliando a composição da mistura obtida pelo método de Marshall e utilizando uma metodologia volumétrica com variação da energia de compactação em função das condições de serviço. É realizada uma avaliação da deformação permanente no pavimento e da sua vida útil à fadiga. Os resultados indicam que um melhor desempenho dos pavimentos pode ser alcançado através de uma criteriosa formulação das misturas.

Palavras-chave: Formulação; Misturas Betuminosas; Desempenho de pavimentos; Ensaio laboratoriais.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de metodologias de formulação que consideram a variação dos parâmetros de formulação, e consequentemente da composição das misturas, com as condições de serviço é comum [1]. Pretende-se deste modo a adaptação das propriedades das misturas betuminosas às condições de serviço permite melhorar o otimizar a performance dos pavimentos.

Neste trabalho caracterizou-se laboratorialmente uma mistura betuminosa AC20, avaliando a suas propriedades e o seu desempenho. A análise da propriedade da mistura AC20 foi realizada considerando duas metodologias de formulação. A metodologia Marshall, correntemente utilizada em Portugal, e uma metodologia volumétrica assente em provetes compactados na prensa giratória de corte, seguindo os procedimentos do programa SUPERPAVE.

Atendendo às orientações para projeto e obras rodoviárias foi tipificado um conjunto de condições de serviço que pudesse caracterizar de um modo adequado as condições Portuguesas. Fatores como como o tráfego, clima (temperatura e pluviosidade), camada de pavimento, tipo de mistura betuminosa foram estruturados de modo a definir conjuntos tipificados de condições de serviço [2].

Com a caracterização do desempenho das misturas betuminosas são propostos valores da energia de compactação, N_{des} , para a metodologia de formulação volumétrica procurando otimizar o comportamento para um determinado conjunto de condições de serviço considerado. O desempenho das misturas pode avaliar diversas componentes, como sejam, a sensibilidade à água, a trabalhabilidade, a rigidez, a resistência à deformação permanente, a resistência à fadiga [3], podendo ainda incluir-se propriedades relacionadas com as características superficiais [4].

2 CARACTERIZAÇÃO DA MISTURA BETUMINOSA

Produziu-se e caracterizou-se uma AC20 em laboratório. A mistura foi produzida com agregado granítico e betume da classe 35/50. Foram produzidos provetes na prensa giratória de corte compactados com 125 giros e realizaram-se ensaios de desempenho. As propriedades da mistura relevantes para a análise realizada apresentam-se no Quadro 1.

Quadro 1. Resultados da caracterização laboratorial da mistura betuminosa.

Mistura	Módulo de Rigidez		Porosidade	VMA*	VFB**	
	E (MPa)	E [MPa]	[%]	[%]	[%]	
	Pb (%)	20°C, 10 Hz	30°C, 10 Hz	@125 giros	@125 giros	@125 giros
	3,5		7,0	14,8	52,7	
	4,0		6,1	15,0	59,7	
AC20	4,5	7217,4	3836,8	3,7	14,0	73,2
	5,0	6415,5	3036,3	2,3	13,8	83,3
	5,5	6331,1	2924,0	1,5	14,2	89,5

*VMA – vazios na mistura de agregados
** VFB – vazios preenchidos com betume

Com os resultados dos ensaios de desempenho laboratoriais e da compactação na prensa giratória de corte foram definidos valores da energia de compactação para a formulação das misturas em função das condições de serviço tipificadas e do desempenho desejado [3]. As condições de serviço foram definidas atendendo às condições observadas em Portugal [2]. Os valores definidos para a energia de compactação na prensa de corte giratório, N_{des} , para formulação da mistura apresentam-se no Quadro 2.

Quadro 2. Valores de N_{des} definidos para cada conjunto de condições de serviço tipificadas.

AC 20 - porosidade de formulação 4%						
Classe de Tráfego (eixos-padrão de 80 kN)						
Camada	Zona Climática	V	IV	III	II	I
		$> 4 \cdot 10^7$	$> 8 \cdot 10^6$ e $< 4 \cdot 10^7$	$> 2 \cdot 10^6$ e $< 8 \cdot 10^6$	$< 2 \cdot 10^6$	TMDAp ⁽²⁾ < 50
bin	Temperada ou Média	75	65	60	60	55
	Quente	80	70	65	65	60
base ⁽¹⁾	Todas	60	55	50	50	45

(1) – Se subjacente a camada superficial (surf) deve considerar-se formulação como camada de ligação (bin).
(2) TMDAp – tráfego médio diário anual de pesados na via mais solicitada.

Com os valores de N_{des} propostos foram estimadas as propriedades das misturas. As propriedades relevantes apresentam-se no Quadro 3.

As composições obtidas com os valores da energia de compactação propostos foram comparadas com a obtida pela formulação com o método de Marshall. Realizou-se a formulação utilizando provetes compactados com 75 pancadas por face, e considerou-se a composição obtida para todas as condições de serviço, procedimento

comum em Portugal. No Quadro 4 apresentam-se as propriedades da mistura formulada pelo método de Marshall, designada AC20 Marshall. Refira-se que o valor de N_{des} que fornece a mesma percentagem ótima em betume que o método de Marshall é de 64 giros, designando-se este valor por $N_{equivalente}$. A título de exemplo, uma composição para camada de ligação, com um tráfego da classe IV, a utilizar na zona quente, seria formulada com um N_{des} de 70 giros. Esta energia de compactação conduziria a uma mistura com uma percentagem ótima de betume de 4,9%, VMA de 15% e VFB de 73,3%, o que representa, respetivamente, 98, 100 e 97% dos valores obtidos para a composição de referência formulada pelo método de Marshall.

Quadro 3. Propriedades da mistura AC20 para as diversas condições de serviço tipificadas.

Tipo de camada e zona climática	Propriedade	Classe de Tráfego				
		V	IV	III	II	I
Zona Temperada ou Média	Ndes [giros]	75	65	60	60	55
	Percen. em betume [%]	4,8%	5,0%	5,1%	5,1%	5,2%
	VMA [%]	14,9%	15,2%	15,4%	15,4%	15,6%
	VFB [%]	72,8%	73,7%	74,2%	74,2%	74,7%
	Módulo rigidez 20°C [MPa]	6812,2	6674,6	6595,7	6595,7	6508,4
	Módulo rigidez 30°C [MPa]	3428,4	3286,6	3205,4	3205,4	3115,4
Zona Quente	Ndes [giros]	80	70	65	65	60
	Percen. em betume [%]	4,8%	4,9%	5,0%	5,0%	5,1%
	VMA [%]	14,8%	15,0%	15,2%	15,2%	15,4%
	VFB [%]	72,3%	73,3%	73,7%	73,7%	74,2%
	Módulo rigidez 20°C [MPa]	6872,9	6746,4	6674,6	6674,6	6595,7
	Módulo rigidez 30°C [MPa]	3490,8	3360,6	3286,6	3286,6	3205,4
Camada de Base	Ndes [giros]	60	55	50	50	45
	Percen. em betume [%]	5,1%	5,2%	5,3%	5,3%	5,4%
	VMA [%]	15,4%	15,6%	15,8%	15,8%	16,1%
	VFB [%]	74,2%	74,7%	75,2%	75,2%	75,8%
	Módulo rigidez 20°C [MPa]	6595,7	6508,4	6410,7	6410,7	6300,3
	Módulo rigidez 30°C [MPa]	3205,4	3115,4	3014,8	3014,8	2901,2

Quadro 4. Propriedades da mistura AC20 formulada pelo método Marshall.

	Pb [%]	VMA [%]	VFB [%]	Módulo rigidez 20°C [MPa]	Módulo rigidez 30°C [MPa]
AC20 Marshall	5,0	15,0	75,3	6659,4	3271,0

3 MODELOS DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE E FADIGA

3.1 Modelo de Deformação Permanente

Foi utilizado o modelo da AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) para determinar a deformação permanente acumulada previsível nas camadas betuminosas [5, 6]. Este modelo, embora ainda careça de validação mais generalizada, foi selecionado pois incorpora expressões específicas para determinar a deformação permanente em misturas betuminosas [6]. A deformação permanente acumulada é determinada através da expressão (1).

$$\Delta_p = \varepsilon_p \cdot h \quad (1)$$

Em que:

Δ_p - Deformação permanente acumulada na camada [mm];

ε_p - Extensão plástica acumulada [mm/mm];

h - Espessura da camada [mm].

A extensão plástica acumulada, ε_p , é determinada pela expressão (2).

$$\varepsilon_p = k_z \cdot \varepsilon_r \cdot 10^{-3,35412} \cdot N^{0,4791} \cdot T^{1,5606} \quad (2)$$

Em que:

k_z - Fator de confinamento;

ε_r - Extensão elástica vertical [mm/mm];

N - Número de carregamentos;

T - Temperatura [°C].

O fator de confinamento, k_z , é determinado pela expressão (3):

$$k_z = (C_1 + C_2 \cdot D \cdot 0,393701) \cdot 0,328196^{(D-0,393701)} \quad (3)$$

Os valores de C_1 e C_2 são determinados pelas expressões (4) e (5).

$$C_1 = -0,1039 \cdot (Hac \cdot 0,393701)^2 + 2,4868 \cdot (Hac \cdot 0,393701) - 17,342 \quad (4)$$

$$C_2 = 0,1072 \cdot (Hac \cdot 0,393701)^2 - 1,7331 \cdot (Hac \cdot 0,393701) + 27,428 \quad (5)$$

Em que:

D - Profundidade do ponto médio da camada [mm];

H_{ac} - Espessura total de camadas betuminosas [mm]

3.2 Modelo de Fadiga

Para análise da vida útil à fadiga das misturas betuminosas foi utilizada a expressão da Shell (6) [7, 8].

$$\varepsilon_{tmb} = (0,856 \cdot V_b + 1,08) \cdot E_{mist}^{-0,36} \cdot N^{-0,2} \quad (6)$$

Em que:

ε_{tmb} - Extensão horizontal de tração na base do conjunto das camadas betuminosas [m/m];

V_b - Percentagem volumétrica de betume [%];

E_{mist} - Módulo de deformabilidade da mistura betuminosa [Pa];

N - Número acumulado de passagens do eixo padrão.

A percentagem de ligante, P_b , corresponde ao valor ótimo obtido em função da metodologia e parâmetros de formulação (ver Quadro 3 e Quadro 4). Os valores de ρ_b (massa volúmica do betume) e ρ_t (baridade da mistura betuminosa) foram determinados experimentalmente. Para ρ_b obteve-se um valor de 1.042 Mg/m^3 , enquanto o valor de ρ_t foi estimado em cada caso utilizando a expressão resultante da regressão multilinear dos valores obtidos experimentalmente em função da energia de compactação, em giros, e percentagem em betume (Figura 1).

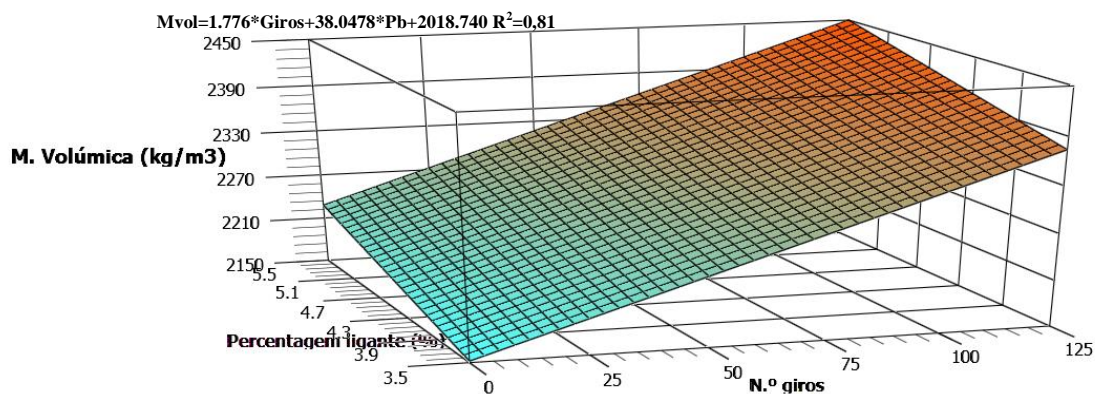


Figura 1. Modelo utilizado para estimar a massa volúmica da mistura betuminosa.

4 ANÁLISE DO DESEMPENHO DO PAVIMENTO

4.1 Estruturas de pavimento consideradas

Realizou-se uma análise para avaliar os impactos dos valores de N_{des} propostos no desempenho do pavimento. Deste modo, comparou-se o desempenho de pavimentos incorporando misturas betuminosas formuladas com os valores propostos, N_{des} , para a formulação volumétrica com a prensa giratória de corte com o desempenho que seria obtido com misturas formuladas pelo método de Marshall. Com esse objetivo definiram-se estruturas tipo para cada nível de tráfego com base no MACOPAV [9]. Estas estruturas não foram dimensionadas com valores específicos, correspondendo a estruturas de pavimento que poderiam ser expectáveis para os níveis de tráfego considerados (ver Quadro 2). As estruturas consideradas apresentam-se no Quadro 5.

Quadro 5. Estruturas de pavimento consideradas para cada nível de tráfego.

Nível de Tráfego																																										
I	II	III	IV	V																																						
Estrutura Tipo																																										
<table border="1"> <tr><td>SURF</td><td>0,05 m</td></tr> <tr><td>AC20 bin</td><td>0,06 m</td></tr> <tr><td>ABGE</td><td>0,20 m</td></tr> </table> <p>SF</p>	SURF	0,05 m	AC20 bin	0,06 m	ABGE	0,20 m	<table border="1"> <tr><td>SURF</td><td>0,05 m</td></tr> <tr><td>AC20 bin</td><td>0,08 m</td></tr> <tr><td>ABGE</td><td>0,20 m</td></tr> </table> <p>SF</p>	SURF	0,05 m	AC20 bin	0,08 m	ABGE	0,20 m	<table border="1"> <tr><td>SURF</td><td>0,05 m</td></tr> <tr><td>AC20 bin</td><td>0,06 m</td></tr> <tr><td>AC20 base</td><td>0,07 m</td></tr> <tr><td>ABGE</td><td>0,20 m</td></tr> </table> <p>SF</p>	SURF	0,05 m	AC20 bin	0,06 m	AC20 base	0,07 m	ABGE	0,20 m	<table border="1"> <tr><td>SURF</td><td>0,05 m</td></tr> <tr><td>AC20 bin</td><td>0,09 m</td></tr> <tr><td>AC20 base</td><td>0,09 m</td></tr> <tr><td>ABGE</td><td>0,20 m</td></tr> </table> <p>SF</p>	SURF	0,05 m	AC20 bin	0,09 m	AC20 base	0,09 m	ABGE	0,20 m	<table border="1"> <tr><td>SURF</td><td>0,05 m</td></tr> <tr><td>AC20 bin</td><td>0,06 m</td></tr> <tr><td>AC20 bin</td><td>0,08 m</td></tr> <tr><td>AC20 base</td><td>0,09 m</td></tr> <tr><td>ABGE</td><td>0,20 m</td></tr> </table> <p>SF</p>	SURF	0,05 m	AC20 bin	0,06 m	AC20 bin	0,08 m	AC20 base	0,09 m	ABGE	0,20 m
SURF	0,05 m																																									
AC20 bin	0,06 m																																									
ABGE	0,20 m																																									
SURF	0,05 m																																									
AC20 bin	0,08 m																																									
ABGE	0,20 m																																									
SURF	0,05 m																																									
AC20 bin	0,06 m																																									
AC20 base	0,07 m																																									
ABGE	0,20 m																																									
SURF	0,05 m																																									
AC20 bin	0,09 m																																									
AC20 base	0,09 m																																									
ABGE	0,20 m																																									
SURF	0,05 m																																									
AC20 bin	0,06 m																																									
AC20 bin	0,08 m																																									
AC20 base	0,09 m																																									
ABGE	0,20 m																																									
<p>SURF – Camada Superficial; ABGE – Sub-base granular em agregado britado de granulometria extensa (módulo=217 MPa); SF – Fundação do pavimento (módulo=100 MPa)</p>																																										

4.2 Desempenho à deformação permanente

O modelo da AASHTO foi utilizado para estimar a deformação permanente acumulada durante a vida útil do pavimento. A modelação foi realizada com os módulos determinados experimentalmente para 20°C e 30°C, considerando que estes representam de modo aproximado a situações de zonas climáticas Temperadas ou Médias e zonas climáticas Quentes, já apresentados nos Quadros 3 e 4. Para a camada superficial consideraram-se módulos genéricos. Para a fundação considerou-se um módulo de 100 MPa (correspondendo a uma classe F3) e para a Sub-base granular de 217 MPa, determinado pela expressão (7). Os valores utilizados na modelação encontram-se no Quadro 6.

$$E_{sb} = 0,2 \cdot h^{0,45} \cdot E_{sf} \quad (7)$$

Em que:

E_{sb} – Módulo da Sub-base [MPa];

h - Espessura da Sub-base [mm];

E_{sf} – Módulo da fundação [MPa].

Quadro 6. Valores dos módulos de deformabilidade considerados [MPa].

Nível Tráfego		I	II	III	IV	V
Zona Temperada e Média	Módulo Def. SURF	4500,0	4500,0	4500,0	4500,0	4500,0
	Módulo Def. AC20 bin	6508,4	6595,7	6595,7	6674,6	6872,9
	Módulo Def. AC20 base	6300,3	6410,7	6410,7	6508,4	6595,7
	Módulo AC20 Marshall	6654,3	6654,3	6654,3	6654,3	6654,3
Zona Quente	Módulo Def. SURF	2500,0	2500,0	2500,0	2500,0	2500,0
	Módulo Def. AC20 bin	3205,4	3286,6	3286,6	3360,6	3490,8
	Módulo Def. AC20 base	2901,2	3014,8	3014,8	3115,4	3205,4
Mod. SBG - ABGE		217,0	217,0	217,0	217,0	217,0
Mod. Fundação		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Assumiram-se valores para o N_{80}^{dim} (valor de cálculo do número acumulado de eixos-padrão) representativos para cada nível de tráfego considerado. Para a determinação das extensões no pavimento foi considerado o rodado de padrão de 80 kN do método Shell. As extensões verticais foram determinadas para os pontos médios das camadas betuminosas situados abaixo do centro dos rodados. A extensão elástica vertical foi determinada utilizando o programa de cálculo WinJULEA, apresentando-se os resultados nos Quadros 7 e 8. O WinJulea tem por base uma análise elástica linear multi-camada, semelhante a programas de cálculo como o BISAR 3.0. Contudo, existe mais experiência na utilização do WinJULEA em conjunto com os modelos da AASHTO, pelo que se optou por utilizar este programa de cálculo na modelação do desempenho à deformação permanente [10].

Quadro 7. Resultados da avaliação da deformação permanente utilizando a formulação volumétrica proposta.

Nível Tráfego		I	II	III	IV	V ⁽¹⁾		
N ₈₀ ^{dim} considerado		10 ⁶	1,5x10 ⁶	5x10 ⁶	2,4x10 ⁷	7x10E ⁷		
Zona Temperada e Média	Camada AC20 bin	ε_p [microextensão]	151,9	123,6	123,8	100,0	124,0	
		Δ_p [mm]	0,53563	0,494454	0,777191	1,041595	1,832577	
	Camada AC20 base	ε_p [microextensão]	---	---	80,2	53,8	39,5	
		Δ_p [mm]	---	---	0,064506	0,021807	0,003028	
	Δ_p total [mm]		0,53563	0,494454	0,841697	1,063402	1,9247	
	Zona Quente	Camada AC20 bin	ε_p [microextensão]	287,1	233,3	245,5	203,7	250,3
			Δ_p [mm]	1,906113	1,757238	2,901795	3,994826	6,964814
		Camada AC20 base	ε_p [microextensão]	---	---	146,5	97,3	69,5
			Δ_p [mm]	---	---	0,221855	0,074256	0,010031
		Δ_p total [mm]		1,906113	1,757238	3,123651	4,069082	7,306316

(1) – Para o nível de tráfego V a estrutura de pavimento apresenta duas camadas em AC 20 bin, deste modo são apresentados na camada AC 20 bin dois valores de cálculo, o superior corresponde à camada AC 20 bin superior e o de baixo à camada AC 20 bin inferior.

4.3 Desempenho à fadiga

Para a determinação do desempenho à fadiga determinaram-se as propriedades das misturas e consideraram-se os módulos de deformabilidade do Quadro 6. As extensões de tração foram determinadas considerando as estruturas de pavimento apresentadas no Quadro 5. Para comparação da vida útil à fadiga determinou-se o número acumulado de eixos padrão de 80kN admissível de acordo com a expressão (6). Os resultados apresentam-se nos Quadros 9 e 10. Para a determinação das extensões no pavimento utilizou-se o programa de cálculo BISAR 3.0, que tem por base uma análise elástica linear multi-camada e é frequentemente usado no dimensionamento de pavimentos em Portugal.

4.4 Análise de Resultados

Observou-se que os modelos utilizados forneceram em geral um melhor desempenho das estruturas de pavimento analisadas quando se consideraram as misturas formuladas com a metodologia volumétrica proposta relativamente à formulação pelo método de Marshall. Na deformação permanente, para níveis de tráfego mais leves, a formulação Marshall forneceu melhores resultados, mas para níveis de tráfego superiores a metodologia de formulação volumétrica proposta permitiu um melhor desempenho do pavimento, com menor cavado de rodéiras. A diferença na profundidade dos cavados de rodéira entre as duas metodologias aumenta com o aumento de temperatura e com o aumento do tráfego. Observa-se uma redução de 6% no cavado de rodéiras estimado utilizando a metodologia volumétrica para as condições mais exigentes.

Quadro 8. Resultados da avaliação da deformação permanente utilizando a formulação Marshall.

Nível Tráfego		I	II	III	IV	V ⁽¹⁾		
N ₈₀ ^{dim} considerado		10 ⁶	1,5*10 ⁶	5*10 ⁶	2,4*10 ⁷	7*10 ⁷		
Zona Temperada e Média	Camada AC20 bin	ϵ_p [microextensão]	149,1	122,7	121,9	100,3	128,0	
		Δ_p [mm]	0,525757	0,490854	0,765263	1,04472	1,891693	
	Camada AC20 base	ϵ_p [microextensão]	---	---	78,0	53,0	39,4	
		Δ_p [mm]	---	---	0,062736	0,021483	0,00302	
	Δ_p total [mm]		0,525757	0,490854	0,828	1,066202	1,986124	
	Zona Quente	Camada AC20 bin	ϵ_p [microextensão]	282,8	234,3	255,4	209,1	266,4
			Δ_p [mm]	1,877564	1,76477	3,018813	4,100727	7,41281
		Camada AC20 base	ϵ_p [microextensão]	---	---	138,3	94,1	68,9
			Δ_p [mm]	---	---	0,209438	0,071814	0,009944
		Δ_p total [mm]		1,877564	1,76477	3,22825	4,172541	7,772678

(1) – Para o nível de tráfego V a estrutura de pavimento apresenta duas camadas em AC 20 bin, deste modo são apresentados na camada AC 20 bin dois valores de cálculo, o superior corresponde à camada AC 20 bin superior e o de baixo à camada AC 20 bin inferior.

Quadro 9. Resultados da avaliação da vida útil à fadiga utilizando a formulação volumétrica proposta.

N. Tráfego		N _{des}	Pb [%]	M. vol. Mistura [Mg/m ³]	M. vol. Betume [Mg/m ³]	Vb	E _{mist} [MPa]	ϵ_{tmb} [μ ext.]	N _{calc}
Zona Temperada e Média	I	55	5,16466	2,3129	1,042452	0,114589	6508,354	171,7	2,22E+06
	II	60	5,06609	2,318027	1,042452	0,112651	6595,723	144,2	4,81E+06
	III	50	5,27484	2,308214	1,042452	0,116796	6410,699	101,9	3,38E+07
	IV	55	5,16466	2,3129	1,042452	0,114589	6508,354	73,4	1,56E+08
	V	60	5,06609	2,318027	1,042452	0,112651	6595,723	54,5	6,24E+08
Zona Quente	I	60	5,06609	2,31803	1,042452	0,112651	3205,376	246,9	1,20E+06
	II	65	4,97707	2,32352	1,042452	0,110934	3286,628	211,3	2,33E+06
	III	50	5,27484	2,30821	1,042452	0,116796	3014,832	157,9	1,47E+07
	IV	55	5,16466	2,31290	1,042452	0,114589	3115,4	116,4	5,85E+07
	V	60	5,06609	2,31803	1,042452	0,112651	3205,376	87,6	2,13E+08

As estruturas de pavimento com misturas formuladas pela metodologia volumétrica forneceram melhores resultados na vida útil à fadiga para todos os níveis de tráfego e em ambas as temperaturas. As diferenças absolutas entre os valores do número de eixos acumulado aumentam com o aumento do tráfego. A maior diferença relativa observou-se para o nível de tráfego III, com um incremento de 22% quando se consideraram misturas formuladas com a metodologia volumétrica.

Quadro 10. Resultados da avaliação da vida útil à fadiga utilizando a formulação Marshall.

	N. Tráfego	N _{equivalente}	Pb [%]	M. vol. Mistura [Mg/m ³]	M. vol. Betume [Mg/m ³]	Vb	E _{mist} [MPa]	ε _{tmb} [μext.]	N _{calc}
Zona Temperada e Média	I	64	4,99419	2,322394	1,042452	0,111262	6654,3	170	1,97E+06
	II	64	4,99419	2,322394	1,042452	0,111262	6654,3	143,6	4,57E+06
	III	64	4,99419	2,322394	1,042452	0,111262	6654,3	100,1	2,78E+07
	IV	64	4,99419	2,322394	1,042452	0,111262	6654,3	72,6	1,38E+08
	V	64	4,99419	2,322394	1,042452	0,111262	6654,3	54,6	5,75E+08
Zona Quente	I	64	4,99419	2,32239	1,042452	0,111262	3271,002	245	1,14E+06
	II	64	4,99419	2,32239	1,042452	0,111262	3271,002	211,8	2,35E+06
	III	64	4,99419	2,32239	1,042452	0,111262	3271,002	152,7	1,21E+07
	IV	64	4,99419	2,32239	1,042452	0,111262	3271,002	114,4	5,11E+07
	V	64	4,99419	2,32239	1,042452	0,111262	3271,002	87,9	1,91E+08

5 CONCLUSÕES

A análise realizada permitiu avaliar, utilizando dois modelos de dimensionamento de pavimentos comuns, o desempenho estimado de diversas estruturas de pavimento em condições de serviço tipificadas. Observou-se que para a mistura definida, a metodologia volumétrica proposta, em que se procura adaptar o desempenho às condições de serviço, permitiu obter no geral melhores resultados de resistência, representada pelos modelos de comportamento usados, à deformação permanente e à fadiga. A consideração das condições de serviço nos valores utilizados para a formulação das misturas betuminosas permite definir um quadro de adaptação da sua composição às solicitações previstas, tendo os resultados indicado um melhoramento do seu comportamento, com influência positiva no desempenho global dos pavimentos.

6 REFERÊNCIAS

1. B. D. Prowell, E. R., Brown, Superpave Mix Design: Verifying Gyration Levels in the N_{design} table, *NCHRP Report 573*, National Cooperative Highway Research Program, Washington D.C. 2007
2. D. Gardete, L. Picado-Santos, S. Capitão, Improving Design of Bituminous Mixture through Service-Oriented Specifications”, *WCPAM17 - World Conference on Pavement and Asset Management*, June 12-16, Baveno, 2017.
3. D. Gardete, L. Picado-Santos, S. Capitão, Improving bituminous mixture performance by optimizing the design compaction energy—A cost effective approach for better pavements, *Construction and Building Materials*, vol. 190, 1173-1181, 2018.
4. E. Sardão, S. Capitão, A. Almeida, L. Picado-Santos, Atrito superficial de camadas betuminosas que incorporam agregados de seixo britado, *7º Congresso Rodoviário Português*, 10 a 12 de abril, Lisboa, 2013.
5. G. Gautam, X. Yuan, W. Lee, N. Li, Local calibration of the MEPDG rutting models for Ontario’s flexible roads: recent findings, *Transportation Research Board 95th Annual Meeting*, 10 a 14 de janeiro, Washington DC, 2016.

6. J. Veiga, Modelos de previsão de deformação permanente em pavimentos rodoviários, *Tese de Mestrado*, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.
7. P. Pereira, L. Picado-Santos, Pavimentos Rodoviários, *Edição dos autores*, Braga, 2002.
8. INIR, Directivas para a concepção de pavimentos - Critérios de dimensionamento, *Instituto de Infraestruturas Rodoviárias IP*, Lisboa, 2009.
9. JAE, *Manual de Concepção de Pavimentos*, Junta Autónoma de Estradas, Lisboa, 1995.
10. AASHTO, Guide for the local calibration of the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, Washington, DC., 2010.