

Reabilitação de Pavimentos Utilizando Misturas Betuminosas com Betumes Modificados

Carlos C. Pestana¹, Pedro A. Pereira²

*Auto-Estradas do Atlântico, Catefica – Apartado 327
2560-587 Torres Vedras, Portugal*

Jorge C. Pais^{3†}, Paulo A.A. Pereira⁴

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil
Azurém, P – 4800-058 Guimarães, Portugal*

RESUMO

Na reabilitação estrutural do pavimento do lanço CRIL-Loures da A8, a Auto-Estradas do Atlântico utilizou duas soluções distintas de reforço recorrendo a misturas betuminosas com betumes modificados. No sentido Norte-Sul foi utilizada uma mistura betuminosa com betume modificado com borracha reciclada de pneus usados (BMB) e no sentido Sul-Norte foi utilizada uma mistura betuminosa com um betume modificado com polímeros (SBS).

O betume com polímeros foi utilizado num betão betuminoso aplicado com 5 cm de espessura e o betume modificado com borracha foi utilizado numa mistura betuminosa aberta aplicada com uma espessura de 2 cm.

Após quatro anos em serviço foi realizado um estudo para determinar as características mecânicas das misturas betuminosas aplicadas de modo a avaliar a sua qualidade e obter indicações relativamente ao seu desempenho futuro.

Para a realização deste trabalho foram retiradas lajes dos trechos experimentais que permitiram a avaliação laboratorial do módulo de deformabilidade, da resistência à fadiga e da resistência à deformação permanente.

Este trabalho permitiu concluir que, em termos de comportamento mecânico, a mistura BMB, com apenas 2 cm de espessura apresenta uma resistência à fadiga e à deformação permanente superior à mistura SBS aplicada com 5 cm de espessura.

¹ Director Técnico

² Administrador

³ Professor Auxiliar

[†] Autor para quem a correspondência deverá ser enviada (jpais@civil.uminho.pt)

⁴ Professor Catedrático

INTRODUÇÃO

A utilização de betumes modificados com polímeros remonta aos anos 70 quando se procurou melhorar as capacidades mecânicas dos betumes para resistirem a esforços cada vez mais severos provocados pelo tráfego. Com esta modificação procura melhorar-se principalmente a elasticidade e a sensibilidade à temperatura, conduzindo a um aumento da resistência à fadiga, redução da deformação permanente e redução da propagação de fendas nas misturas betuminosas.

Estas melhorias estão relacionadas com o tipo de polímero utilizado na modificação do betume e com a sua compatibilização com o betume, sendo os termoplásticos (quando aquecidos tornam-se maleáveis de forma reversível sendo possível ser moldados novamente) o principal tipo de polímero utilizado.

Os polímeros termoplásticos dividem-se em dois grupos: os elastómeros e os plastómeros, consoante a sua rigidez e deformabilidade.

Os elastómeros, sendo o principal polímero utilizado o SBS (estireno-butadieno-estireno), permitem aumentar o ponto de amolecimento e reduzir a penetração do betume, aumentando a flexibilidade e a ductilidade a baixas temperaturas, permitindo a sua utilização numa gama de temperaturas mais alargada que os betumes convencionais. A principal contribuição para o desempenho das misturas betuminosas traduz-se num aumento da resistência à fadiga e à deformação permanente e no aumento da resistência ao envelhecimento (Whiteoak, 1990).

A utilização de betumes modificados com borracha para utilização em misturas betuminosas a quente iniciou-se na década de 40 quando a Companhia de Reciclagem de Borracha (U.S. Rubber Reclaiming Company) introduziu no mercado um produto composto de material betuminoso e borracha desvulcanizada reciclada denominada RamflexTM (Coley, 1970).

No entanto, Charles H. MacDonald é considerado o pai do betume modificado com borracha nos Estados Unidos. No ano de 1963, ele desenvolveu um material altamente elástico para ser utilizado na manutenção de pavimentos. O produto era composto de ligante betuminoso e 25% de borracha moída de pneu (de 0,6 a 1,2 mm), misturados a 190° C durante vinte minutos, para ser utilizado em operações de reparação localizada de pavimentos. A incorporação de granulado de borracha reciclada de pneus usados nos betumes teve como objectivo melhorar o comportamento mecânico das misturas betuminosas e diminuir o nível de poluição ambiental (Way, 2000).

O sucesso da modificação do betume pela borracha resulta da interacção dos asfaltenos e das frações leves do betume, em particular os maltenos, com as partículas de borracha, formando uma película de gel que fixa as fracções leves evitando a sua evaporação com o tempo. Esta modificação permite que o betume tenha uma maior flexibilidade e a mantenha durante muito mais tempo comparativamente ao betume convencional, resultando numa velocidade de envelhecimento menor (Shatnawi e Long, 2000).

O desempenho estrutural dos pavimentos está directamente relacionado com o comportamento mecânico das misturas betuminosas caracterizado através do módulo de deformabilidade, ângulo de fase, resistência à fadiga, resistência à deformação permanente e resistência à propagação de fendas.

A utilização de betume modificado com borracha aumenta a resistência à fadiga das misturas betuminosas, sendo esta superior à verificada em misturas com betume modificado com polímeros SBS. Este comportamento é atribuído à maior flexibilidade proporcionada pela incorporação da borracha granulada ao betume.

Nas misturas betuminosas com betume modificado com borracha também se verifica um aumento da resistência às deformações permanentes comparativamente às misturas com betume convencional resultante da menor susceptibilidade térmica do betume.

Uma das principais propriedades das misturas betuminosas com betume modificado com borracha é a sua resistência à propagação de fendas, que permite a utilização deste tipo de mistura em reforços estruturais, em particular dos pavimentos muito fendilhados (Pais et al, 2000).

A nível funcional, as misturas betuminosas com betume modificado com borracha apresentam ainda a vantagem de proporcionarem um nível de ruído pneu-pavimento menor que as misturas com outro tipo de betume. Também se verifica que estas misturas conseguem mobilizar um coeficiente de atrito pneu-pavimento superior às restantes misturas betuminosas.

A partir do conhecimento das principais características das misturas betuminosas com os betumes modificados considerados, este trabalho apresenta uma comparação do seu desempenho mecânico quando aplicadas na reabilitação de pavimentos degradados.

Considerando as potencialidades das misturas betuminosas produzidas com este tipo de betumes modificados, a Auto-Estradas do Atlântico reabilitou em 2001 o lanço CRIL-Loures da A8 com duas soluções distintas de reforço. Num dos sentidos foi aplicado um betão betuminoso com betume modificado por polímeros (SBS), com 5 cm de espessura. No outro sentido foi aplicada uma mistura betuminosa aberta com betume modificado com borracha (BMB) com uma espessura de 2 cm.

Após quatro anos em serviço foi realizado um estudo para determinar as características mecânicas de ambas as misturas betuminosas de modo a avaliar a sua qualidade e obter indicações do seu desempenho futuro.

Para a realização deste trabalho foram retiradas lajes dos trechos experimentais que permitiram a avaliação laboratorial do módulo de deformabilidade, da resistência à fadiga e da resistência à deformação permanente. Esta avaliação foi realizada para material recolhido da faixa de rodagem e para material recolhido da berma direita, este utilizado como referência para estudo da evolução do comportamento das misturas betuminosas com o tráfego. No entanto, como a berma direita não foi pavimentada em simultâneo com a faixa de rodagem, este material poderá não representar correctamente a situação das misturas betuminosas sem solicitação do tráfego.

1. FORMULAÇÃO DAS MISTURAS BETUMINOSAS

O material aplicado na reabilitação do trecho em estudo foi formulado através do ensaio Marshall tendo conduzido aos valores indicados no Quadro 1. Neste quadro são ainda indicados os valores da porosidade e percentagem de betume para as misturas betuminosas ensaiadas em laboratório.

Da análise destes resultados é possível verificar que em relação à mistura SBS, esta apresenta *in situ* uma percentagem de betume muito superior à correspondente ao estudo de formulação. Na berma o excesso de betume cifra-se em mais 23,5% (6,3% medido em laboratório em relação aos 5,1% do estudo de formulação) e na faixa de rodagem em mais 25,5% (6,4% medido em laboratório em relação aos 5,1% do estudo de formulação). Este excesso de betume conduz a um melhor desempenho à fadiga comparativamente a uma mistura com uma percentagem de betume correctamente produzida. Em termos de módulo de deformabilidade é de prever uma pequena diminuição, o mesmo se passando em relação à resistência à deformação permanente, comparativamente à mistura do estudo de formulação.

Quadro 1 – Resumo da porosidade e percentagem de betume

Mistura	Local	Porosidade (%)		% betume	
		Formulação	Medido in situ	Formulação	Medido in situ
SBS	Berma	4,2	5,8	5,1	6,3
	Faixa		4,4		6,4
BMB	Berma	15,0	7,7	9,0	10,2
	Faixa		7,1		8,9

Em relação à mistura BMB, apenas o material retirado da berma apresenta mais ligante que o respectivo estudo de formulação, apresentando neste caso uma diferença de 13,3%. Este excesso de betume provocará um melhor desempenho à fadiga, um menor módulo de deformabilidade e uma menor resistência à deformação permanente da mistura da berma em relação à mistura da faixa de rodagem.

Em termos de porosidade verifica-se que a mistura SBS apresenta na faixa de rodagem um valor semelhante ao estudo de formulação, enquanto que na berma a porosidade é 38% superior à do estudo de formulação. Esta diferença na porosidade fará com que a mistura da berma apresente um menor módulo de deformabilidade e resistência à fadiga e à deformação permanente que a mistura da faixa de rodagem.

A porosidade da mistura BMB é aproximadamente 50% inferior à correspondente ao estudo de formulação. Na sua formulação esta mistura BMB apresentava uma porosidade de 15%, a que correspondia a uma mistura betuminosa aberta, encontrando-se aplicada no pavimento com uma porosidade de apenas 7,5%, o que a torna numa mistura betuminosa densa com alguma porosidade.

O comportamento mecânico desta mistura BMB poderá caracterizar-se por um maior módulo de deformabilidade e resistência à fadiga que a mistura betuminosa do estudo de formulação.

A análise granulométrica do material das duas misturas é apresentada nas Figuras 1 e 2, através da respectiva curva granulométrica, conjuntamente com os respectivos limites superior e inferior do fuso granulométrico.

Para a mistura SBS, tanto para o material retirado da faixa de rodagem como para o material da berma, obteve-se uma curva que segue muito de perto o ponto médio do fuso especificado.

Para a mistura BMB verifica-se que a curva granulométrica dos agregados se apresenta abaixo do limite inferior do fuso na componente mais fina e acima na componente mais grossa. Este facto é mais evidente para a mistura da berma do que para a mistura da faixa de rodagem.

A mistura BMB da faixa de rodagem é caracterizada por ter mais material fino e menos material grosso que a mistura da berma. Este facto pode conduzir a que a mistura da faixa de rodagem apresente menor módulo de deformabilidade e mais resistência à fadiga que a mistura da berma.

Para a mistura BMB da faixa de rodagem, a combinação de uma maior quantidade de finos e menos betume relativamente à mistura da berma pode conduzir a uma menor resistência à fadiga e possivelmente a uma maior resistência à deformação permanente que a mistura retirada da berma.

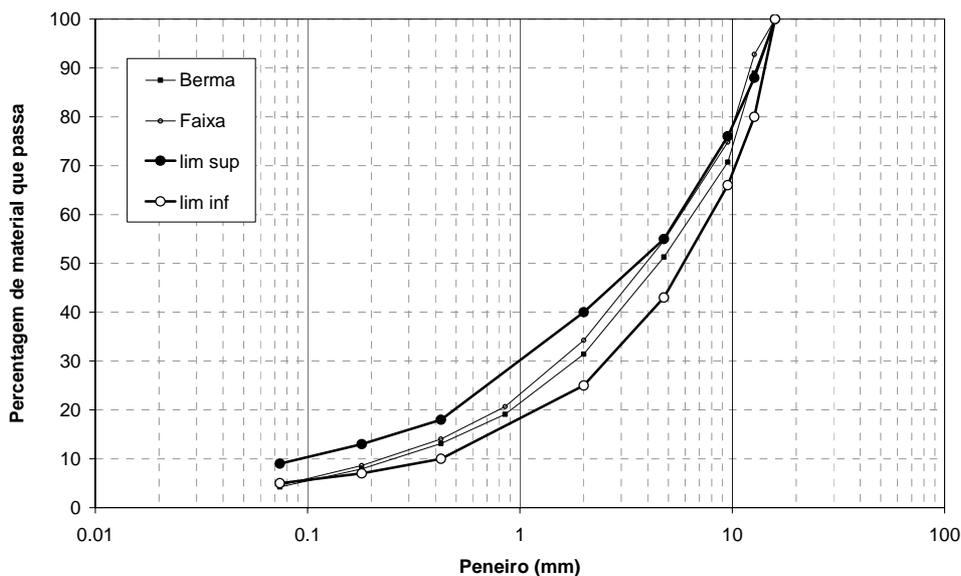


Figura 1 – Curva granulométrica das misturas SBS

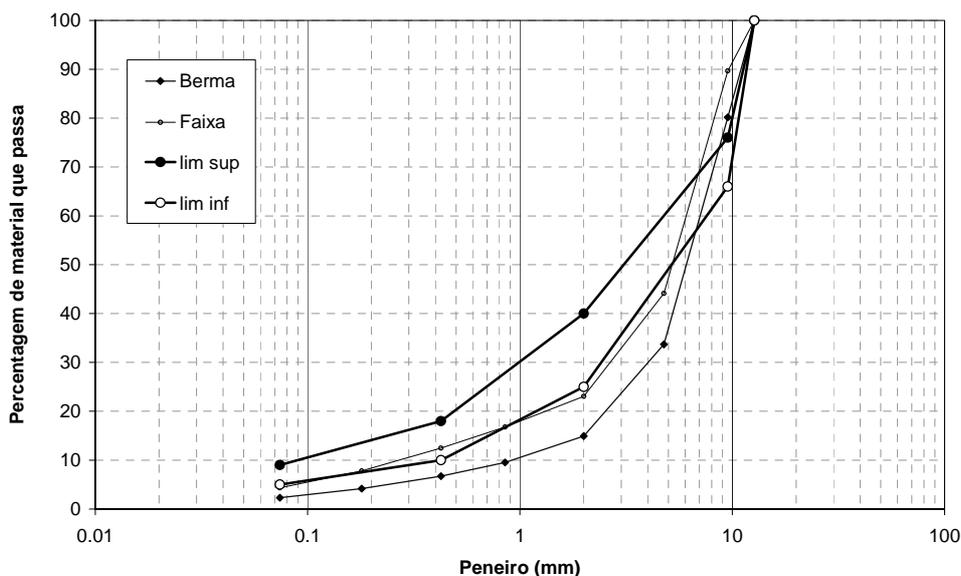


Figura 2 – Curva granulométrica das misturas BMB

2. MÓDULO DE DEFORMABILIDADE

O módulo de deformabilidade das misturas betuminosas foi obtido através do ensaio de flexão em 4 pontos, com carregamento sinusoidal repetido, sobre provetes com a dimensão de $5,1 \times 6,3 \times 38,0 \text{ cm}^3$, de acordo com o preconizado na norma AASHTO TP8-94, tendo-se aplicado uma extensão máxima de tracção na base dos provetes de 100×10^{-6} . Os ensaios foram conduzidos em ordem decrescente de frequência tendo-se aplicado 10, 5, 2, 1, 0,5, 0,2 e 0,1 Hz, à temperatura de ensaio de 20 °C.

O módulo de deformabilidade e respectivo ângulo de fase para as várias frequências, apresentados no Quadro 2, resultam da média dos 6 ensaios realizados para cada condição de ensaio, enquanto que na Figura 3 é apresentada a evolução do módulo de deformabilidade em função da localização da mistura no pavimento.

Quadro 2 – Módulo de deformabilidade e ângulo de fase

Mistura	Frequência (Hz)	Módulo de deformabilidade (MPa)	Ângulo de fase (graus)	Mistura	Frequência (Hz)	Módulo de deformabilidade (MPa)	Ângulo de fase (graus)
SBS berma	10	7369	14,0	BMB berma	10	3218	18,2
	5	6535	16,8		5	2993	18,8
	2	5427	20,5		2	2488	20,5
	1	4625	23,2		1	2144	21,7
	0,5	3877	25,7		0,5	1840	22,9
	0,2	2998	29,1		0,2	1492	24,5
	0,1	2434	30,8		0,1	1247	25,9
SBS faixa rodagem	10	8881	11,9	BMB faixa de rodagem	10	2653	15,6
	5	8006	14,4		5	2470	16,4
	2	6816	17,6		2	2168	18,0
	1	5948	19,9		1	1881	19,4
	0,5	5116	22,3		0,5	1620	20,6
	0,2	4075	25,4		0,2	1379	22,3
	0,1	3349	28,2		0,1	1158	23,8

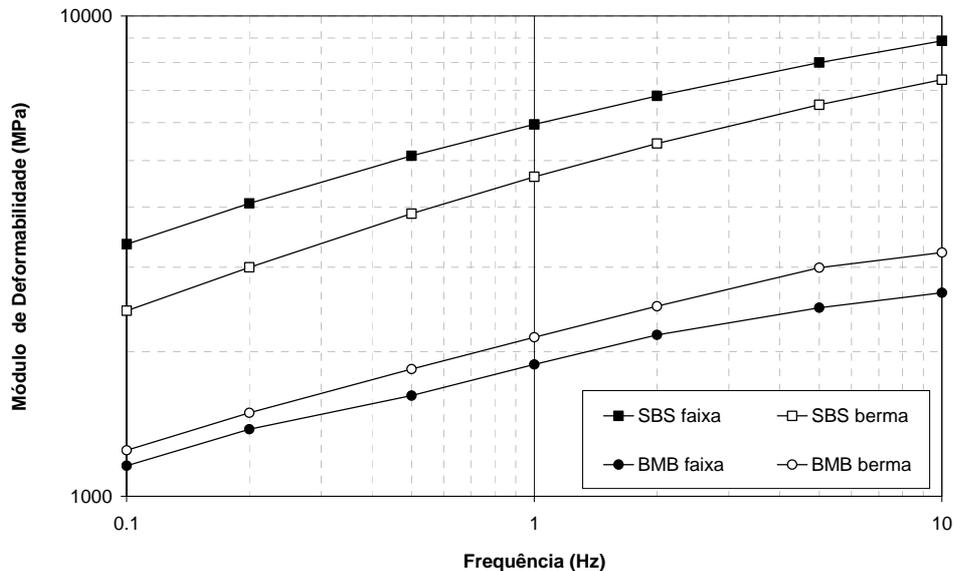


Figura 3 – Influência da localização da mistura no módulo de deformabilidade

Para a frequência de 10 Hz, a mistura SBS apresenta um módulo de 7369 MPa na berma e 8881 MPa na faixa de rodagem, valores na gama normal para misturas com este tipo de betume (modificado com polímeros SBS). Esta diferença de módulo já era esperada uma vez que o material da berma ao apresentar maior porosidade, comparativamente à faixa de rodagem, teria menor módulo de deformabilidade. Esta diferença de módulo permite ainda

concluir que o material da faixa de rodagem não se encontra degradado ou caso tenha algum nível de degradação, este será extremamente baixo.

Para esta mesma frequência (10 Hz), a mistura BMB apresenta um módulo de 3218 MPa na berma e 2653 MPa na faixa de rodagem.

O módulo de deformabilidade desta mistura BMB, pelo facto de não se encontrar aberta como no estudo de formulação e apresentar-se quase fechada, deveria ser aproximadamente de 3500 MPa, baseado em resultados de Fonseca (2006). Devido ao excesso de betume na berma, o módulo de 3218 MPa parece corresponder a um valor normal para esta mistura.

Relativamente à faixa de rodagem, o facto desta mistura apresentar mais finos e menor percentagem de betume pode conduzir a uma redução do módulo de rigidez, pelo que o valor de 2600 MPa poderá também ser considerado um valor normal e não indiciador do início da degradação da mistura betuminosa.

Na Figura 4 é apresentada a evolução do ângulo de fase em função da localização da mistura no pavimento podendo observar-se na mistura SBS uma redução do ângulo de fase da mistura da faixa de rodagem comparativamente à mistura da berma. A mistura BMB apresenta uma menor influência da frequência de aplicação de cargas no ângulo de fase, indiciando maior resistência à deformação permanente para cargas mais lentas.

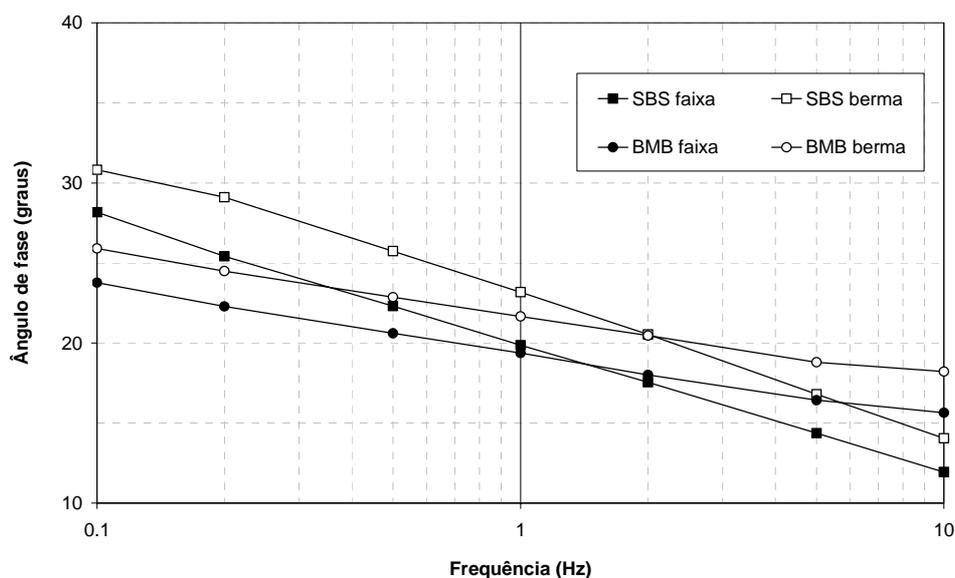


Figura 4 – Influência da localização da mistura no ângulo de fase

A diferença de comportamento entre as várias misturas betuminosas, tanto para o material retirado da faixa de rodagem como da berma, é representada pelos “black-diagrams” da Figura 5. Neste gráfico é possível verificar que a mistura SBS não apresenta diferença significativa de comportamento entre a faixa de rodagem e a berma. No que diz respeito à mistura BMB, é perceptível a diferença entre o comportamento na faixa de rodagem comparativamente à berma sendo esta diferença resultado da contribuição dos diversos factores que intervêm na composição da mistura betuminosa, estes de forma mais significativa que o possível início de fendilhamento na mistura betuminosa.

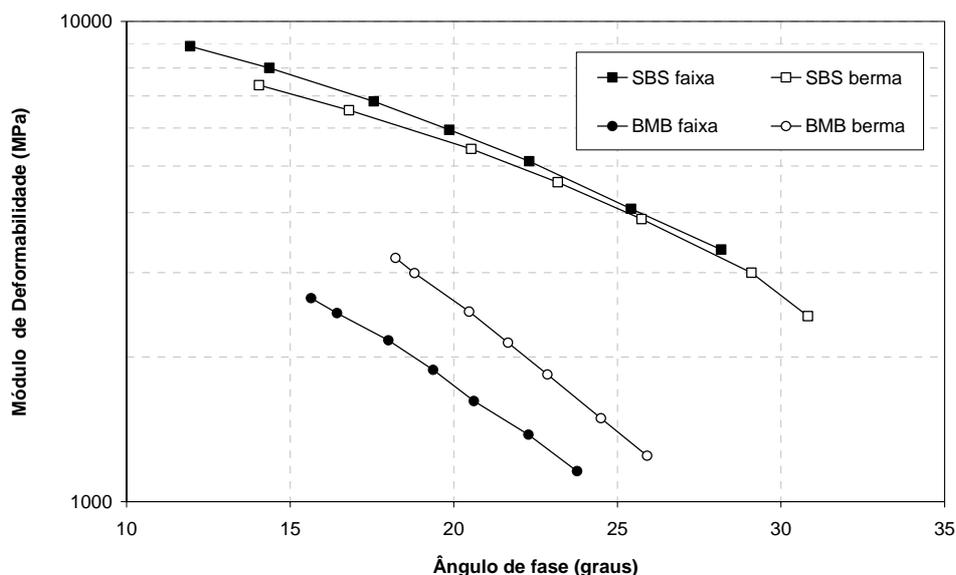


Figura 5 – Black-diagram das misturas betuminosas estudadas

3. RESISTÊNCIA À FADIGA

A resistência à fadiga das misturas betuminosas foi determinada em ensaios de flexão em 4 pontos, com carregamento sinusoidal repetido, sobre provetes com a dimensão de 5,1 x 6,3 x 38,0 cm³, de acordo com a norma AASHTO TP8-94, conduzidos a 20 °C, sendo a frequência de aplicação de cargas de 10 Hz. Os ensaios foram desenvolvidos em controlo de deslocamento tendo-se realizado 3 repetições para cada um dos 2 níveis de níveis de extensão ensaiados, (300x10⁻⁶ e 700x10⁻⁶), obtidos através de um carregamento sinusoidal sem período de repouso.

Os ensaios de fadiga conduziram aos resultados que se apresentam no Quadro 3, dados pela extensão de tracção aplicada e respectiva vida à fadiga.

Os resultados dos ensaios de fadiga foram também expressos em termos de lei de fadiga, de acordo com a Equação 1, tendo-se obtido as leis indicadas no Quadro 4.

$$N = a * \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)^b \quad (1)$$

sendo: N = número de aplicações de carga até à rotura;

ε = extensão de tracção (10⁻⁶);

a, b = coeficientes determinados experimentalmente.

Duas variáveis importantes para avaliar a resistência à fadiga de uma mistura betuminosa, que são utilizadas conjuntamente com as leis de fadiga para avaliar o desempenho das misturas estudadas, são:

N₁₀₀ – resistência à fadiga para a extensão de 100x10⁻⁶;

ε_6 – extensão para uma resistência à fadiga igual a 1x10⁶.

Quadro 3 – Resultados dos ensaios de fadiga

Mistura	Proвете	Extensão (10 ⁻⁶)	Vida à fadiga (ciclos)
SBS berma	A	740	10359
	B	728	5549
	C	712	12019
	D	328	165679
	E	325	322003
	F	329	154275
SBS faixa rodagem	A	715	19948
	B	707	13350
	C	718	15351
	D	319	505484
	E	319	229462
	F	316	345813
BMB berma	A	814	4182
	B	764	9178
	C	765	2103
	D	338	564498
	E	452	682399
	F	463	137592
BMB faixa rodagem	A	760	10230
	B	344	785679
	C	342	636759
	D	345	225988
	E	799	5964
	F	803	6259

Quadro 4 – Coeficientes das leis de fadiga das misturas betuminosas

Mistura	Local	a	b	R ²	N ₁₀₀	ε ₆
SBS	Berma	1,509E+15	3,926	0,96	2,12E+07	218
	Faixa	1,030E+15	3,788	0,97	2,73E+07	239
BMB	Berma	5,513E+22	6,584	0,89	3,75E+09	349
	Faixa	4,313E+16	4,399	0,88	6,86E+07	261

A resistência à fadiga das misturas betuminosas é representada na Figura 6. Para a mistura SBS pode concluir-se que o material da faixa de rodagem apresenta maior resistência à fadiga comparativamente ao material da berma, sendo isto devido à menor porosidade do material da faixa de rodagem e a um maior módulo de deformabilidade como já tinha sido concluído. Este facto mais uma vez evidencia o bom desempenho desta mistura (com 5 cm de espessura aplicados sobre o pavimento fendilhado).

Relativamente à mistura BMB é evidente a distinção entre o comportamento do material retirado da berma e o material retirado da faixa de rodagem. Enquanto que o material retirado da berma apresenta, para os níveis de extensão mais baixos (são estes que estão instalados no pavimento quando da passagem dos veículos pesados), uma elevada resistência à fadiga, o material retirado da faixa de rodagem tem esta resistência relativamente diminuída.

Isto é explicado pelo facto do material da faixa de rodagem apresentar uma percentagem de betume consideravelmente inferior ao material da berma e uma maior percentagem de finos.

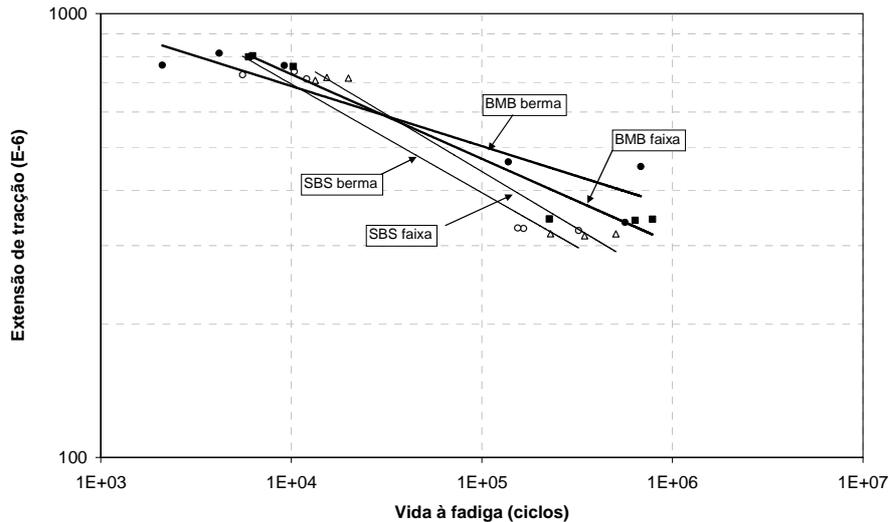


Figura 6 – Leis de fadiga para as misturas betuminosas estudadas

A diferença de comportamento, tanto em termos de módulo de deformabilidade como resistência à fadiga, da mistura BMB da faixa de rodagem relativamente à berma poderia ser atribuída a alguma degradação prematura provocada pela existência de fendilhamento. Para verificar este facto analisou-se a variável N_{100} , que para a mistura BMB apresenta 3.75×10^9 na berma e 6.86×10^7 na faixa de rodagem.

Se a diferença de resistência à fadiga fosse devida exclusivamente à existência de fendilhamento, podia concluir-se que após 4 anos de serviço, o material da faixa de rodagem apenas apresenta 1.8% da resistência do material da berma. Assim, se em 4 anos a mistura perdeu 98.2% da sua resistência à fadiga, os restantes 1.8% são gastos apenas em aproximadamente 1 mês, o que parece excessivamente pouco comparativamente ao estado de conservação da mistura BMB no pavimento. Além deste facto, desde a extracção do material do pavimento até à conclusão dos ensaios decorreram 8 meses, não havendo indícios do pavimento com a mistura BMB apresentar qualquer tipo de degradação.

Deste modo pode concluir-se que a diferença de resistência à fadiga da mistura BMB entre a faixa de rodagem e a berma não é devida à existência de degradação da mesma (existência de fendilhamento) mas sim devido às diferenças já verificadas nas respectivas composições. Assim, o material da mistura BMB retirado da berma não é representativo do estado inicial da mistura da faixa de rodagem.

4. RESISTÊNCIA À DEFORMAÇÃO PERMANENTE

A avaliação da resistência à deformação permanente da mistura betuminosa foi realizada recorrendo ao ensaio de corte a altura constante sobre provetes cilíndricos com 15 cm de diâmetro por 5 cm de espessura, conforme preconizado pela norma AASHTO TP7-94. Os ensaios foram realizados a 54 °C, temperatura representativa da média das 7 maiores temperaturas diárias verificadas no pavimento a uma profundidade de 5 cm, de acordo com Sousa et al (1993).

Os resultados dos ensaios laboratoriais, em termos de número de eixos-padrão de 80 kN (ESALs), necessários para produzir uma rodeira de 10 mm de profundidade, apresentam-se no Quadro 5, correspondentes à média, em escala logarítmica, dos 3 provetes ensaiados para cada mistura betuminosa.

Quadro 5 – Resistência à deformação permanente das misturas betuminosas

Mistura	Local	Média (ESALs)
SBS	Berma	9,34E+07
	Faixa	1,10E+10
BMB	Berma	1,21E+09
	Faixa	4,09E+11

A análise dos resultados dos ensaios de deformação permanente à mistura SBS permite concluir que o material da faixa de rodagem apresenta maior resistência à deformação permanente que o material de berma, podendo este facto ser devido à menor porosidade que se verifica na faixa de rodagem comparativamente à berma.

Em relação à mistura BMB a maior resistência à deformação permanente evidenciada pelo material da faixa de rodagem comparativamente à berma fica a dever-se à menor percentagem em betume que o material apresenta.

Em termos de comparação entre as duas misturas, pode concluir-se que a mistura BMB apresenta uma resistência à deformação permanente superior à mistura SBS sendo este facto devido principalmente ao excesso de betume da mistura SBS relativamente ao correspondente estudo de formulação.

Na Figura 7 é apresentada a ordenação das misturas betuminosas relativamente à deformação permanente sendo visível o melhor desempenho das misturas BMB em comparação com as misturas SBS.

O comportamento à deformação permanente da mistura BMB é ainda influenciado pelos 2 cm espessura com que a mistura foi aplicada no pavimento. Esta espessura provoca um grande imbricamento entre os agregados aumentando, deste modo, a resistência à deformação permanente devida a esforços de corte.

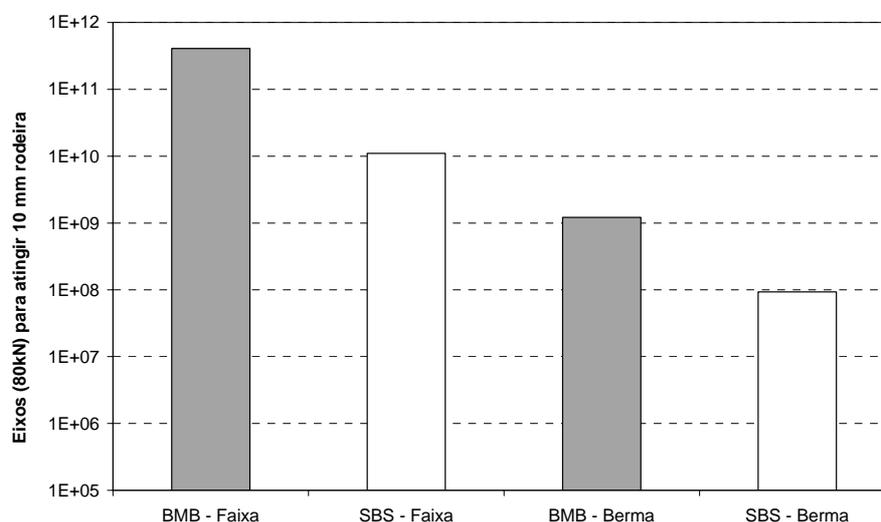


Figura 7 – Ordenação das misturas relativamente à deformação permanente

5. CONCLUSÕES

A Auto-Estradas do Atlântico realizou trechos experimentais no lanço CRIL-Loures da A8 com o objectivo de verificar o desempenho de dois tipos de mistura betuminosa com betumes modificados na reabilitação de pavimentos rodoviários:

- Betão betuminoso com betume modificado com polímeros (SBS) aplicado com 5 cm de espessura;
- Mistura betuminosa aberta com betume modificado com borracha (BMB) aplicada com aproximadamente 2 cm de espessura.

Para a realização deste estudo foram retiradas lajes de 40x50 cm² tanto da zona de passagem de rodados na via direita da faixa de rodagem como da berma direita, que posteriormente permitiram a obtenção dos provetes de ensaio.

O objectivo deste trabalho contemplou a caracterização física e mecânica dos dois materiais aplicados no pavimento e a respectiva comparação do desempenho em termos de módulo de deformabilidade, resistência à fadiga e resistência à deformação permanente.

O material retirado da berma foi utilizado como referência para obtenção das características das misturas betuminosas após aplicação no pavimento (sem solicitação do tráfego). No entanto, pela análise realizada às características físicas dos materiais retirados dos dois locais em estudo e aos resultados dos ensaios de fadiga pode concluir-se que, pelo menos para a mistura BMB, esta referência não pôde ser utilizada.

A caracterização física das misturas betuminosas permitiu verificar algumas diferenças, em termos de porosidade, percentagem em betume e granulometria, entre os estudos de formulação e as características avaliadas no material recolhido do pavimento.

Em termos de comportamento mecânico, tanto a mistura SBS como a mistura BMB apresentam módulos de deformabilidade habituais para o tipo de mistura. As diferenças verificadas entre as misturas ensaiadas ficaram a dever-se a discrepâncias das características físicas das misturas entre o estudo de formulação e o verificado no pavimento.

Em relação à resistência à fadiga, a mistura BMB apresenta, para todas as condições de ensaio, uma resistência superior à mistura SBS, ou seja, a mistura BMB consegue ainda suportar mais tráfego que a mistura SBS.

Os resultados dos ensaios de corte permitiram concluir que a mistura BMB também apresenta maior resistência à deformação permanente que a mistura SBS.

Da análise realizada conclui-se que a mistura BMB mesmo com 2 cm de espessura apresenta um desempenho superior à mistura SBS com 5 cm de espessura.

REFERÊNCIAS

Coley, J., A Study of Flexible Pavement with RAMFLEX Rubber Additives, *Mississippi St. Highway Dept.* (1970).

Fonseca, P., A Utilização do Betume Modificado com Borracha (BMB) em Portugal: A experiência adquirida ao longo de 7 anos nas obras em serviço, *4º Congresso Rodoviário Português*, Lisboa (2006).

Pais, J.C., Sousa, J.B., Way, G.W. Stubstad, R.N., An overlay design method for reflective cracking, *Proceedings of the Asphalt Rubber 2000 Conference*, Vilamoura, Portugal (2000).

Shatnawi, S. e Long, B., Performance of asphalt rubber as thin overlays, *Proceedings of the Asphalt Rubber 2000 Conference*, Vilamoura, Portugal (2000).

Sousa, J.S., Solaimanian, M. e Weissman, S.L., *Development and Use of the Repeated Shear Test (Constant Height): An Optional Superpave Mix Design Test*, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC (1993).

Way, G.B., OGFC Meets CRN – Where the rubber meets the rubber, *Asphalt Rubber 2000 Conference*, Vilamoura, Portugal (2000).

Whiteoak, D. *The Shell Bitumen Handbook*, Shell Bitumen, Surrey (1990).