

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS BETUMINOSAS TEMPERADAS COM ELEVADA INCORPORAÇÃO DE MISTURAS BETUMINOSAS RECUPERADAS PARA CAMADAS DE DESGASTE EM AUTOESTRADA

Eugénia Correia, Maria João Rato, Daniela Domingues, BRISA

Professor Doutor José Neves, CERIS, DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Teresa Carvalho, MOEVE

Pedro Nunes, Nuno Fernandes, TECNOVIA



11 crp

sustentabilidade e
resiliência



TÉCNICO
LISBOA

moeve



Agenda

01. Enquadramento

02. Estratégia e Metodologia

03. Formulação e Desempenho Mecânico das Misturas Betuminosas

04. Construção das Secções Piloto

05. Controlo de Qualidade

06. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

01. Enquadramento | Objetivos do Caso de Estudo

- Estudo de misturas betuminosas temperadas, com incorporação de misturas betuminosas recuperadas
- Não comprometer as propriedades mecânicas e funcionais da nova mistura
- Não comprometer a operação
- Melhores práticas ambientais e técnicas na atividade da Brisa, e possíveis benefícios económicos

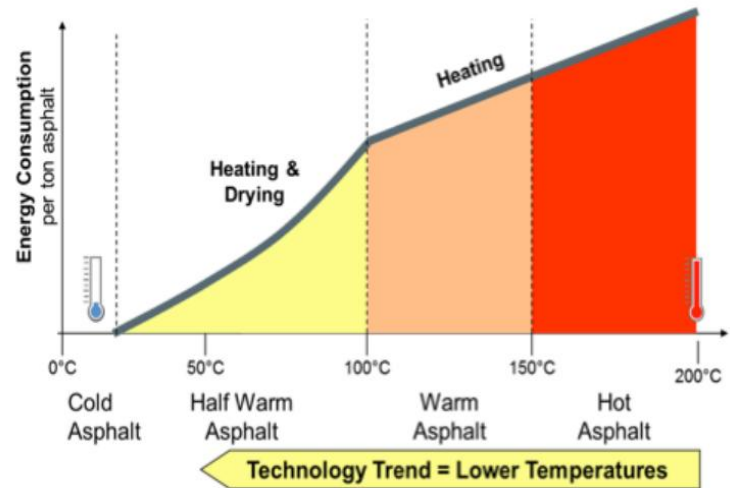
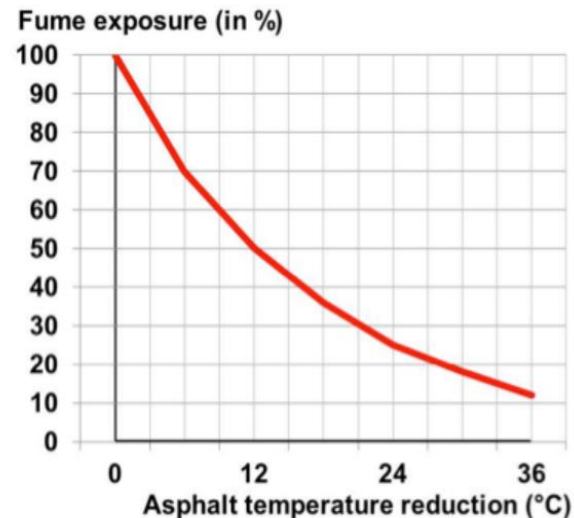


Figure 1: Classification by temperature range

01. Enquadramento | Vantagens das MBT

- MBT (20 – 40 °C) < MBQ
- **Redução de emissões:** Reduções de CO₂ entre 20% a 40%; Reduções de SO₂ entre 20 a 35%; Redução de monóxido de carbono CO entre 10 a 30%; Redução de libertação de partículas entre 20 a 55%; Reduções dos componentes voláteis orgânicos até 50%; Redução da rigidez do betume do RA
- **Redução de T (° C) de produção e compactação**
- Menos condicionante na abertura ao tráfego
- **Redução de consumos energéticos**
- **Incorporação de RA**



02. Estratégia e Metodologia

Caracterização do comportamento mecânico de mistura betuminosa temperada com elevada incorporação de misturas betuminosas recuperadas para camadas de desgaste de via de alta prestação



Comportamento Mecânico MBT e MBT-MBR:

- AC 14 Surf PMB 45/80-75 BT (BBr) - MBT (PMB)
- AC 14 Surf PMB 45/80-75 BT (BBr) + 20% RA - MBT-MBR (PMB)
- Mistura Referência: AC14 Surf PMB 45/80-75 (BBr) - MBQ (PMB)

02. Estratégia e Metodologia | Materiais



Betume modificado com polímeros, de elevada viscosidade

- Elaster RAF AV© (PMB 45/80-75) | $T_{\text{produção}}$ 175 – 185°C | $T_{\text{compactação}}$ 170 – 180°C
- **Elaster RAF AV BT © (PMB 45/80-75)** | $T_{\text{produção}}$ 140 – 185°C | $T_{\text{compactação}}$ 135 – 180°C
- Aditivo ao Elaster RAF AV © | não altera as características reológicas do betume | Trabalhar a temperaturas mais baixas

tecnovia Agregados naturais

- **Granitos** da Pedreira da Tecnovia Indústria no Monte das Flores, em Évora
- As frações utilizadas foram 10/16 mm, 4/12 mm e 0/4 mm



02. Estratégia e Metodologia | Materiais



Mistura Betuminosa Recuperada

- **BBr** com um betume modificado 60/70 e **betão betuminoso antiderrapante BBad** com um betume modificado 60/70
- Agregados são **granodioritos**, que foram inicialmente britados, e posteriormente crivados para produzir uma **fração 8/16 mm**, originando uma mistura betuminosa recuperada com a seguinte classificação: **16 RA 0/10 mm**.
- **2,8%** de betume
- **Penetração de 10** (0,1mm)
- Ponto de amolecimento de 91,0°
- Índice de penetração de 2,2



02. Estratégia e Metodologia | Equipamentos

- **Fresadora Wirtgen W200i**, utilizando minicarregadoras com vassoura para as limpezas do pavimento
- **Central contínua**, a Ermont TSM 21 XLM, pertencente à Tecnovia Indústria, localizada no Monte das Flores, em Évora
- **Pavimentadora** Vogelle Super 1800-3
- **Cilindros de rolos tipo Hamm HD70 e HD110**, para o espalhamento e compactação das misturas betuminosas



03. Estratégia e Metodologia | Localização

➤ Sublanço Évora Nascente /Estremoz | Sentido Decrescente

➤ MBT (PMB)

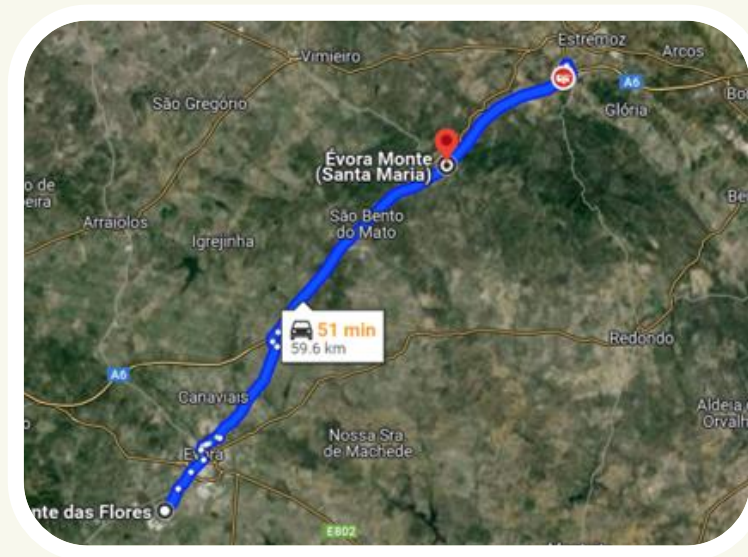
PK 96+954 – PK 96+554

PK 96+554 – PK 95+804

➤ MBT-MBR (PMB)

PK 95+804 – PK 95+388

PK 97+027 – PK 96+475



03. Formulação e Desempenho Mecânico das Misturas Betuminosas | Formulação

Análise prévia do contributo do betume envelhecido

- Estudo Marshall
 - Ensaios complementares de avaliação do desempenho, tendo como base as propriedades mecânicas presentes nas Cláusulas Técnicas Especiais do Caderno de Encargos da BCR
 - **Betume envelhecido da MBR influencia o comportamento mecânico da nova mistura betuminosa**
 - **Ensaio “Wheel Tracking”:** obtiveram-se piores valores quando não se considera o contributo do betume envelhecido da MBR
 - Profundidade de rodeira após 10 000 ciclos: 2,8 mm; Percentagem de profundidade de rodeira após 10 000 ciclos: 5,2%; Taxa de deformação: 0,06 mm/10³ ciclos
- 2 Formulações laboratoriais:
 - ✓ Não considerar o contributo do betume envelhecido da MBR e adicionar 5% de betume virgem
 - ✓ Considerar o contributo do betume envelhecido da MBR e adicionar 4,4% de betume virgem, ou seja, considerar um contributo de 0,6% de betume envelhecido

03. Formulação e Desempenho Mecânico das Misturas Betuminosas | Formulação

Formulação Laboratorial das misturas betuminosas estudadas

Tipo de Mistura	Temperatura Betume (°C)	Temperatura dos agregados (°C)	Temperatura da Mistura (°C)	Tempo de Mistura (s)
MBQ (PMB)	175 °C	170 °C	165 °C	300 s
MBT (PMB)	175 °C	150 °C	150 °C	300 s
MBT- MBR (PMB)	175 °C	160 °C	150 °C	300 s (*)

(*) **No caso da mistura com incorporação de MBR existe uma fase anterior à mistura com betume, na qual os seguintes materiais são colocados na misturadora para pré-aquecimento durante (2400)s:** agregado de maiores dimensões (160°C) + agregado fino (160°C) + 1/3 de fíler (temperatura ambiente) + MBR (temperatura ambiente), até que os materiais estabilizem a cerca de 145°C (a misturadora envolve" para "145°C) e a cada 30 segundos a misturadora envolve o material de modo que fique todo à mesma temperatura antes da introdução do betume. Este processo demora cerca de 40 minutos (2400 s), este tempo é dependente do tipo de equipamento utilizado e da quantidade de material introduzido à temperatura ambiente.

03. Formulação e Desempenho Mecânico das Misturas Betuminosas | Formulação

Propriedades	MBQ (PMB)	MBT (PMB)	MBT-MBR (PMB)	Requisitos (Caderno de Encargos da BCR)
Fração 10/16mm (%)	19,0	19,0	20,9	-
Fração 4/12 mm (%)	39,9	39,9	26,6	-
Fração 0/4 mm (%)	31,4	31,4	23,8	-
Fíler (%)	4,8	4,8	4,8	-
16 RA 0/10 mm (%)	0	0	19,0	-
Betume Virgem (%)	4,9	5,0	4,4	-
MBR Betume (%)	-	-	0,6	-
Betume total (%)	4,9	5,0	5,0	5,0 ± 0,2
Relação Fíler Total/Betume (%)	1,6	1,4	1,5	1,4 ± 0,2

03. Formulação e Desempenho Mecânico das Misturas Betuminosas | Desempenho

Propriedades	Formulação Laboratorial			Requisitos (Caderno de Encargos da BCR)
	MBQ (PMB)	MBT (PMB)	MBT-MBR (PMB)	
Porosidade (%)	2,6	2,5	2,4	3-6
VMA (%)	14,0	14,1	14	≥ 14
Estabilidade (kN)	16,9	15,7	15,1	12,5 - 15
Deformação (mm)	4,0	4,9	4,2	2-4
Quociente Marshall (kN/mm)	4,2	3,2	3,6	≥ 3
ITSR (%)	96	87	89	≥ 85
Profundidade de Rodeira (mm) (após 10000 ciclos)	2,3	1,4	1,6	NR
Profundidade de Rodeira (%) (após 10000 ciclos)	4,3	2,8	3,1	NR
Taxa de deformação (ciclos mm/10 ³)	0,05	0,03	0,03	≤ 0,10

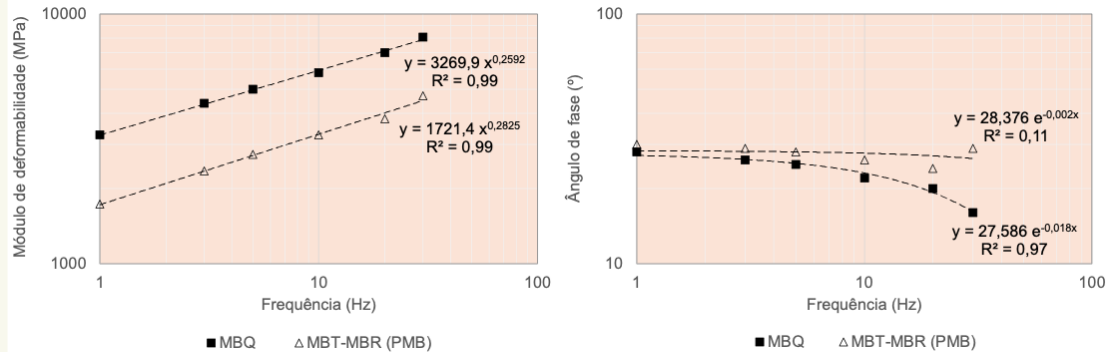
03. Formulação e Desempenho Mecânico das Misturas Betuminosas | Desempenho

- **Ensaio de sensibilidade à água** (EN 12697-12) e de **resistência à deformação permanente (“Wheel-Tracking”)** (EN 12697-22)
- **Ensaio de módulo de deformabilidade e fadiga no Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa**, para a mistura betuminosa AC14 Surf PMB 45/80-75 BT (BBr) + 20% RA - MBT-MBR (PMB). As amostras ensaiadas foram produzidas em laboratório
- Resultados de ITSR para a MBT (PMB) e a MBT-MBR (PMB) inferiores aos resultados para a MBQ (PMB), contudo **resultados satisfatórios** atendendo ao definido no Caderno de Encargos da BCR
- Suscetibilidade dos materiais à **deformação permanente**, os resultados obtidos mostram que as misturas betuminosas MBT (PMB) e MBT-MBR (PMB) apresentaram melhores resultados que a MBQ (PMB)
- **Todas as misturas betuminosas formuladas em laboratório apresentaram resultados em conformidade com o definido no Caderno de Encargos da BCR**

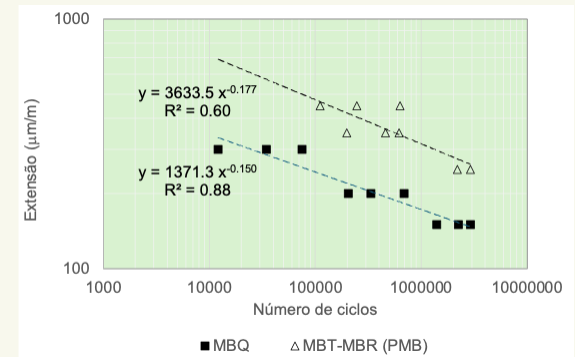
03. Formulação e Desempenho Mecânico das Misturas Betuminosas | Desempenho

Ensaio de Módulo de Deformabilidade e de Fadiga (4PB, 20°C)

Módulo de deformabilidade



Fadiga



- Redução do módulo de deformabilidade, mas evidenciando um comportamento mais viscoso e estável da mistura betuminosa devido ao betume modificado (independente da frequência de ensaio)

- Melhoria significativa da resistência à fadiga, em alinhamento com o caráter mais viscoso conferido pelo betume modificado

04. Construção das Secções Piloto | Temperaturas de Produção e Compactação

Tipo de Mistura	Extensão (m)	Quantidade aplicada (ton)	Quantidade MBR (ton)	Temperatura de Produção (°C)	Temperatura de Compactação (°C)
MBT (PMB)	1150 m (VL)	473 ton	0 ton	147 °C – 153 °C	130 °C -140 °C
MBT-MBR (PMB)	968 m (VL+VD)	438 ton	80 ton	150 °C – 157 °C	135 °C – 145 °C

MBQ (PMB)

$T_{\text{Produção}}$: 175°C – 185 °C

$T_{\text{compactação}}$: 170°C – 180 °C



05. Controlo de Qualidade | Desempenho

Propriedades	Formulação Laboratorial			Resultados do Controlo de Qualidade (Secções Piloto)			Requisitos (Caderno de Encargos da BCR)
	MBQ (PMB)	MBT (PMB)	MBT-MBR (PMB)	MBQ (PMB)	MBT (PMB)	MBT-MBR (PMB)	
Porosidade (%)	2,6	2,5	2,4	3,1	2,9	2,4	3-6
VMA (%)	14,0	14,1	14	14,6	14,3	13,7	≥ 14
Estabilidade (kN)	16,9	15,7	15,1	17,7	16,3	15,2	12,5 - 15
Deformação (mm)	4,0	4,9	4,2	3,8	4,9	5,9	2-4
Quociente Marshall (kN/mm)	4,2	3,2	3,6	4,6	3,3	2,6	≥ 3
ITSR (%)	96	87	89	95	77	73	≥ 85
Profundidade de Rodeira (mm) (após 10000 ciclos)	2,3	1,4	1,6	2,4	1,5	1,3	NR
Profundidade de Rodeira (%) (após 10000 ciclos)	4,3	2,8	3,1	4,3	3,8	2,4	NR
Taxa de deformação (ciclos mm/10 ³)	0,05	0,03	0,03	0,07	0,04	0,03	≤ 0,10

06. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

- MBT (PMB) e MBT-MBR (PMB), mostraram desempenhos promissores relativamente à deformação permanente
- Avaliar as causas para os valores inferiores nos ensaios de sensibilidade à água, nas amostras recolhidas nas secções piloto, quando comparados com os resultados obtidos nos ensaios realizados às amostras produzidas em laboratório
- Em termos de controlo de temperatura e consumo de energia, **as misturas betuminosas MBT (PMB) e MBT-MBR (PMB) permitiram trabalhar em temperaturas de produção e compactação mais baixas**
- **MBT-MBR (PMB)** permitiu ainda a incorporação de cerca de **80 toneladas** de MBR
- Misturas Betuminosas Temperadas apresentaram resultados bastante satisfatórios em termos de comportamento mecânico, havendo vantagens na incorporação de mistura betuminosa recuperada
- **São necessários ainda ensaios adicionais para uma avaliação melhor e mais completa das características de desempenho deste tipo de materiais.** Por exemplo, serão realizados ensaios de avaliação da deformabilidade e da resistência à fadiga da mistura betuminosa MBT (PMB)

OBRIGADA!
GRACIAS!

CONTACTOS



eugenia.correia@brisa.pt



+351 912 154 712

