

## CLÁUSULAS TÉCNICAS ESPECIAIS

### MISTURA BETUMINOSA ABERTA: MBA - BMB

#### 1 – Mistura Betuminosa Aberta com BMB (MBA-BMB). Definição

A mistura betuminosa aberta com betume modificado a partir de borracha reciclada (MBA-BMB) de pneus é constituída por agregados finos e grossos, betume convencional modificado com borracha reciclada de pneus (BMB) e um filer mineral. O seu fornecimento implica a produção de todos os agregados, a mistura dos agregados e filer, com o betume modificado com borracha, o transporte e a colocação em obra dessa mistura para constituir uma camada de pavimento, de acordo com os detalhes do projecto e com os requisitos destas especificações, e de acordo com as instruções da Fiscalização.

#### 2 – Critérios de Formulação da MBA-BMB

O estudo de formulação da mistura betuminosa deverá ser conduzido em duas fases distintas. Numa primeira fase serão determinadas as características físicas da mistura através do método de Marshall sendo definidas no máximo duas misturas distintas a serem testadas na segunda fase para a qual se realizará um trecho experimental e onde, após retiradas as devidas conclusões, será definida, por indicação da fiscalização, a composição final da mistura a utilizar em obra.

Os resultados dos ensaios sobre a mistura betuminosa, conduzidos pelo método Marshall, devem estar de acordo com os valores a seguir indicados (\*):

- Número de pancadas em cada extremo do provete .....50
- Valor de VMA (percentagem de Vazios na Mistura de Agregados), mínimo.....25%
- Porosidade (\*\*)... .....9 a 15%
- Resistência conservada, mínima .....80%
- Percentagem de ligante modificado com borracha .....10%±0,5%
- Cântabro Húmido, máximo.....15%

(\*) A temperatura de fabrico da mistura para moldagem dos provetes deve ser de 175° C e a temperatura de compactação deverá estar situada entre os 135 e os 150° C.

(\*\*) Os cálculos da porosidade devem ser efectuados com base em medições geométricas sobre os provetes. Os provetes para este tipo de mistura devem ser moldados com 1000 g.

## 2.1 – Materiais

### 2.1.1 – Agregados

Os agregados devem satisfazer o mencionado em 14.03.0-9 do Caderno de Encargos tipo do IEP à excepção da curva granulométrica.

A mistura de agregados para o fabrico da mistura betuminosa deverá obedecer às seguintes prescrições:

A sua composição granulométrica, obtida a partir da composição de pelo menos três fracções granulométricas distintas, respeitará obrigatoriamente o seguinte fuso granulométrico:

#### FUSO GRANULOMÉTRICO PARA A FORMULAÇÃO DE MISTURA PARA AGREGADOS MINERAIS

ABERTURA DAS MALHAS DE PENEIROS ASTM	PERCENTAGEM ACUMULADA DO MATERIAL QUE PASSA
12,5 mm (1/2")	100
9,5 mm (3/8")	90 – 100
4,75 mm (nº 4)	35 – 50
2,00 mm (nº10)	6 – 10
0,425 mm (nº40)	3 – 7
75 µm (nº200)	2 – 3

- Perda por desgaste na máquina de Los Angeles (Granulometria B), máxima.....20% a)
- Percentagem de material britado ..... 100%
- Índices de lamelação e de alongamento, máximos ..... 15%
- Coeficiente de polimento acelerado, mínimo ..... 0,50
- Equivalente de areia da mistura de agregados (sem a adição de filler), mínimo..... 60%
- Valor de azul-de-metileno (material de dimensão inferior a 75 µm), máximo ..... 0,8
- Absorção de água para cada uma das fracções granulométricas componentes,  
máxima .....2%

a) 26% em granitos.

### 2.1.2 – Filer

No fabrico desta mistura betuminosa não deve ser utilizado o filer recuperado proveniente do sistema de filtros da central de fabrico das misturas betuminosas. O filer a utilizar, no mínimo 2% por peso de agregado mineral, deve ser constituída por cimento Portland tipo II, por cal hidráulica devidamente hidratada ou por filer comercial, conforme os requisitos da tabela seguinte:

**FILER**

<b>Material</b>	<b>Requisito</b>
Cimento Portland, Tipo II	NP 2064 e NP 2064-Emenda 1
Cal Hidráulica Hidratada	ASTM C 1097

### 2.1.3 – Ligante Betuminoso

O ligante betuminoso deve ser o betume modificado com borracha reciclada de pneus (BMB) de acordo com os requisitos constantes nas cláusulas técnicas especiais específicas para o BMB.

## 3 – Formulação de Mistura

O adjudicatário obriga-se a apresentar o estudo de formulação da mistura betuminosas de acordo com o previsto no CE do IEP 15.03.7 - Misturas Betuminosas a Quente - Disposições gerais para o seu estudo, fabrico, transporte e aplicação. Nesse estudo deverá ainda ser incluído o estudo de formulação do betume modificado com borracha tendo em conta o betume base e o granulado de borracha a utilizar.

O estudo de formulação da mistura deve também discriminar a origem(s) do agregado mineral, a origem do betume e do granulado de borracha, bem como a fonte e tipo de filer, e a granulometria da mistura de agregados com filer.

O estudo de formulação deverá fazer referência às duas fases distintas referidas no ponto 2, ou seja à formulação da mistura através do método de Marshall e composição final a adoptar em obra decorrente da execução do trecho experimental.

#### 4 – Controlo de Qualidade da Mistura Betuminosa

Para o controlo de qualidade deste tipo de mistura betuminosa devem ser realizados os ensaios especificados no capítulo 14.00 e com a frequência indicada em 14.00.4.03.4.3.2 (betão betuminoso drenante) do Caderno de Encargos tipo do IEP.

O controlo de qualidade é da responsabilidade do adjudicatário. A Fiscalização reserva-se o direito de obter amostras para uso próprio, de qualquer parte de qualquer material e em qualquer altura do fabrico.

Para além do estipulado acima deve ser garantido o seguinte:

##### 4.1 – Granulometria do Agregado Mineral

Após a transposição do estudo para a central de fabrico das misturas betuminosas e de definida a curva de trabalho, a granulometria do agregado mineral, incluindo o filer, será considerada não aceitável, se o resultado de qualquer ensaio diferir das percentagens da granulometria da formulação de mistura do seguinte modo:

<b>Peneiro de Passagem</b>	<b>Tolerâncias (%)</b>
9,5 mm e superior	±6
4,75 mm	±6
2,36 mm	±5
75 µm	±1,5

Se em qualquer ensaio a granulometria do agregado mineral, incluindo o filer não estiver dentro dos limites indicados, a produção da mistura betuminosa deve parar imediatamente e só deve recomeçar quando os ensaios de calibração (da balança dos inertes e do estado de conservação dos crivos instalados) mostrarem que a granulometria está dentro dos limites atrás indicados.

##### 4.2 – Controlo da Percentagem de Ligante Betuminoso

Durante o fabrico da mistura betuminosa, deverá ser controlada a percentagem de betume modificado utilizando o método de incineração (“Mufla”).

---

Sob supervisão directa da Fiscalização, o adjudicatário medirá o conteúdo de ligante na mistura betuminosa num mínimo de 2 vezes por período de trabalho.

A produção da mistura betuminosa cessará de imediato e a central de fabrico será re-calibrada, se a Fiscalização verificar que a percentagem de ligante betuminoso na mistura teve uma variação superior a  $\pm 0,3\%$  do que estava previamente indicado no estudo de formulação da mistura aprovado.

## **5 – Disposições ligadas ao fabrico transporte e colocação da Mistura Betuminosa**

Em relação ao fabrico, transporte e colocação em obra deste tipo de mistura betuminosa, deverá ser cumprido o estipulado no capítulo 15.03.7 - Mistura betuminosas a quente - Disposições gerais para o seu estudo, fabrico, transporte e aplicação - do Caderno de Encargos tipo do IEP.

As centrais betuminosas a utilizar na produção deste tipo de mistura betuminosa serão unicamente do tipo descontínuo.

Para além do estipulado acima deve ser garantido o seguinte:

### **5.1 – Lotes de Materiais**

O adjudicatário não está autorizado a manter o fornecimento da central betuminosa se o stock de inertes e do betume base for inferior a 3 dias de produção, a menos que apenas falem 3 dias para a produção ficar completa, ou que existam condições especiais em que a Fiscalização dispense este requisito.

Os agregados minerais devem estar separados em fracções e armazenados de modo a que seja minimizada a contaminação entre fracções. Deverá ser colocada uma divisória aprovada, de dimensões apropriadas para não permitir a mistura das fracções.

### **5.2 – Fabrico**

Este tipo de misturas betuminosas, como já se referiu, é fabricado nas centrais betuminosas descontínuas, devendo estas respeitar o estipulado no capítulo 15.03.7.5 do C.E. tipo do IEP.

Para além dos procedimentos normais dessas centrais deve ter-se em atenção o seguinte:

---

O filer deve ser misturado mecanicamente com o agregado mineral, antes da adição do betume modificado.

O filer deve ser pesado numa cinta de pesagem ou com outro sistema de pesagem aprovado, com um totalizador de peso, antes de entrar no aparelho de mistura mecânica. Este aparelho deve ser um tipo de misturadora de argamassa ("pugmill type") com pelo menos dois eixos motorizados com pás misturadoras.

O adjudicatário deve diariamente apresentar à Fiscalização documentação que comprove que foi incorporada na mistura betuminosa a quantidade prevista de filer.

Nenhum material fino que tenha sido recolhido no sistema colector de poeiras deverá voltar a ser incorporado na mistura, a menos que a Fiscalização, com base nos ensaios, determine que todo ou parte desse material fino pode ser utilizado. Se a Fiscalização assim o determinar, poderá autorizar que fique registada, a utilização de uma proporção específica desses materiais finos; todavia, essa autorização não será concedida se os materiais finos colectados não forem incorporados uniformemente na mistura e se estes não se apresentarem totalmente limpos e isentos de líquidos contaminantes.

O agregado mineral, o filer e o ligante betuminoso são combinados proporcionalmente em função do volume, peso ou de uma combinação peso/volume.

Quando o agregado mineral, o filer e o ligante betuminoso são proporcionados pelo peso, todas as caixas, funis de carga, baldes ou tolvas empregues para a pesagem dos materiais, juntamente com placas de qualquer tipo usadas no processamento dos materiais, devem ser isoladas da vibração ou do movimento do resto da unidade, devido ao funcionamento de qualquer equipamento, de modo a não permitir que o erro de pesagem que ocorre quando toda a unidade de processamento está a funcionar ultrapasse os 2% em qualquer circunstância, nem 1,5% para qualquer "amassadura".

A introdução do ligante betuminoso será controlada por um sistema automático completamente integrado com os controlos do agregado mineral e do filer.

O ligante betuminoso deve ser pesado num balde aquecido e isolado suspenso numa balança sem sistema de mola.

### **5.3 – Secagem e Aquecimento**

Uma sonda de registo ou outro instrumento de registo termométrico aprovado, sensível a uma gama de flutuações térmicas não inferior a 5°C por minuto, deve ser colocado na calha de descarga do

---

secador, de modo a registar automaticamente a temperatura da mistura betuminosa ou do agregado mineral.

A secagem e o aquecimento devem ser completados de forma a impedir que o agregado mineral fique recoberto por óleo combustível.

#### **5.4 – Processo de Mistura**

Para além do especificado no capítulo 15.03.7.5 do C.E. tipo do IEP deverá ser observado o seguinte:

A produção da central betuminosa deve permitir a obtenção de uma mistura cuidada e uniforme dos materiais. Deste modo, o tempo de mistura e a quantidade misturada deve ser devidamente estudada e submetida à aprovação da fiscalização.

A Fiscalização reserva-se no direito de poder alterar os dois parâmetros atrás referidos se entender que tal é necessário para a melhorar as características estruturais da mistura betuminosa.

Deve ser fornecido um sistema de sinalização luminoso ou sonoro para indicar o nível mínimo do agregado mineral nos silos dos materiais quentes antes da entrada no misturador. A central betuminosa só poderá funcionar se este sistema de sinalização estiver em boas condições de funcionamento. Cada silo terá uma calha de extravasamento ou uma divisória para impedir que o material se misture com os silos adjacentes.

A temperatura do ligante betuminoso na altura da descarga da misturadora não deve em circunstância alguma exceder 195°C a não satisfação deste pressuposto constitui motivo para rejeição do material. Se a mistura betuminosa for descarregada da misturadora para um silo de armazenamento, esse silo deve estar construído de modo a que seja minimizada a segregação da mistura betuminosa.

A temperatura de fabrico da mistura, à saída do misturador, deverá ser mantida entre 175 e 190°C dependendo da temperatura atmosférica e de forma a garantir que o início da compactação seja efectuado a uma temperatura mínima de 160°C.

---

## **5.5 – Colocação em obra e Acabamento**

De forma a garantir uma boa aderência para este tipo de mistura betuminosa a rega de colagem deve ser executada com emulsão betuminosa a partir de betume modificado convencional, devendo garantir-se, como mínimo, cerca de 400 a 500 g de betume modificado residual por m<sup>2</sup>.

A mistura betuminosa deve ser colocada e acabada através de pavimentadoras de grande largura para que seja abrangida toda a faixa de rodagem e não serem executadas juntas longitudinais de construção.

De modo a conseguir, tanto quanto possível, uma operação contínua, a velocidade da pavimentadora deve ser coordenada com a produção da central de fabrico. Se a pavimentadora estiver parada mais que 15 minutos, ou se existir um intervalo de 15 minutos ou mais entre o fim da descarga de um camião e o início da descarga de outro, a pavimentadora deverá ser afastada do tapete para permitir que os cilindros compactadores compactem essa área. Uma junta de construção transversal deve ser realizada com uma metodologia aprovada pela Fiscalização. O adjudicatário obriga-se a dimensionar os meios de transporte da mistura de modo a garantir que exista sempre um camião cheio com mistura em espera junto à pavimentadora.

Atendendo à baixa espessura da mistura betuminosa a utilizar a superfície adjacente deverá estar completamente desempenada e com uma regularidade de acordo com o especificado no capítulo 15.03.7.11.2.3 do C.E. tipo do IEP. O sistema de nivelamento a utilizar no espalhamento desta mistura betuminosa deverá ser o da espalhadora com a mesa trancada para a espessura de projecto após compactação.

O transporte da mistura desde a central de fabrico até à colocação em obra deverá ser feito com recurso a camiões com meios de cobertura de modo a permitirem que a mistura esteja sempre coberta até à descarga na pavimentadora.

## **6 – Compactação da Mistura Betuminosa**

### **6.1 – Requisitos Gerais**

Para além do estipulado no capítulo 15.03.7.8 do C.E. do IEP devem ser verificados os seguintes pressupostos:

A temperatura da mistura betuminosa no início da compactação deve ser pelo menos de 160 °C.

---

Só devem ser utilizados cilindros de rasto liso estáticos e vibradores.

Os cilindros compactadores devem ser humedecidos com água ou, se necessário com água e sabão para impedir a aderência da mistura betuminosa durante a fase de compactação.

## **6.2 – Equipamento de Compactação**

O adjudicatário deverá utilizar no mínimo um cilindro de rasto liso estático e dois cilindros de rasto liso vibradores em função da largura de espalhamento de forma a cobrir a largura total da pavimentadora. No caso de serem utilizadas duas espalhadoras em paralelo o número mínimo de cilindros será de seis unidades de forma a cobrirem a largura total de espalhamento. Os cilindros vibradores são utilizados para a compactação inicial (junto da espalhadora) e o cilindro estático no acabamento final.

Se a produção de mistura betuminosa exceder as 160 toneladas por hora, deve existir um compactador estático adicional.

Os compactadores devem ter um peso superior a 8 toneladas.

Os compactadores devem ter propulsão autónoma e devem ser operados com a roda de tracção em posição anterior. Os compactadores vibradores devem ser usados de acordo com as indicações da Fiscalização. Todos os compactadores devem estar equipados com pás e sistema de humedecimento para impedir a aderência da mistura betuminosa aos cilindros de compactação.

Para camadas com 25 mm ou menos de espessura nominal não devem ser usados cilindros no modo de vibração.

## **6.3- Procedimento de Compactação**

Os compactadores vibradores devem ser utilizados na passagem inicial e mantidos atrás da pavimentadora, a não mais de 30 m. Os restantes compactadores devem seguir o mais perto possível destes últimos. Serão efectuadas tantas passagens quanto possível com o segundo conjunto de compactadores, antes da temperatura da mistura betuminosa descer abaixo dos 120 °C.

Se a temperatura ambiente for inferior a 15°C o adjudicatário deverá obrigatoriamente diminuir a distancia acima indicada para 15m e colocar no mínimo mais um cilindro estático com vibração.

---

De qualquer modo, se a temperatura ambiente for inferior ou igual a 10°C os trabalhos devem ser imediatamente suspensos.

#### **6.4 – Requisitos e Tolerâncias de Superfície**

A espessura da camada após compactação, o grau de compactação e a regularidade superficial deverão cumprir o estipulado no capítulo 15.03.7.11 do C.E. tipo do IEP.

##### **6.4.1 – Rugosidade superficial**

A superfície da camada de desgaste deverá apresentar, uma profundidade mínima de textura superficial, caracterizada pelo ensaio para determinação de altura de areia (Aa), de acordo com o especificado seguidamente:

Tipo de mistura betuminosa	Altura de areia (mm)
Mistura Betuminosa aberta com BMB	Aa > 1,1

#### **7 – Trecho Experimental**

Tal como referido no ponto 2 um dos critérios para formulação da mistura betuminosa é a execução de um trecho experimental. Assim, para se obter a densidade desejada, o número/peso dos cilindros compactadores e as características de superfície atrás especificadas, deve ser construído um trecho experimental de acordo com o estipulado no Caderno de Encargos tipo do IEP capítulo 15.03.7-3. Após a execução do trecho experimental e da verificação das propriedades atrás referidas pode ser necessário reformular a mistura betuminosa. Deste modo, a formulação final da mistura betuminosa só será obtida após a execução do trecho experimental.

---

## 8 – Identificação dos Ensaios a Realizar

NORMA	TÍTULO
LNEC E-237	Ensaio de desgaste pela máquina de Los Angeles
LNEC E-199	Ensaio de equivalente de areia
LNEC E-248	Determinação das massas volúmicas e absorção de água de areias
NP 581	Determinação das massas volúmicas e absorção de água de britas e godos
LNEC E-233	Análise granulométrica
LNEC E-235	Determinação da quantidade de material que passa no peneiro de 0,074 mm
LNEC E-267	Determinação da densidade aparente de misturas betuminosas compactadas
UNE 83-130-90	Ensaio de Azul de Metileno
ASTM D 2041	Determinação da baridade máxima teórica pelo método do picnómetro de vácuo
BS – 182 part 105	Determinação do Índice de lamelação e de alongamento
ASTM D1559	Ensaio de compressão Marshall
NLT 352	Caracterização das misturas betuminosa abertas pelo ensaio Cántabro de perda por desgaste
NLT 362	Efeito da água sobre a coesão das misturas betuminosas de granulometria aberta, mediante o ensaio Cántabro de perda por desgaste
ASTM D 1075	Determinação da Resistência Conservada em misturas betuminosas utilizando o método de Marshall