

Disposições Normativas

CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS AGREGADOS



Instituto de Infra-Estruturas
Rodoviárias IP

Construção e Reabilitação de Pavimentos AGREGADOS

DOCUMENTO BASE

ÍNDICE DE CAPÍTULOS

1.	OBJECTIVOS E CAMPO DE APLICAÇÃO	1
1.1.	Objectivos	1
1.2.	Tipos de agregados	2
1.3.	Matriz de aplicação	3
1.4.	Definições.....	3
2.	AGREGADOS PARA BETÃO	5
3.	AGREGADOS PARA MISTURAS BETUMINOSAS E REVESTIMENTOS SUPERFICIAIS	6
3.1.	requisitos dos agregados grossos, finos e de granulometria extensa para misturas betuminosas e revestimentos superficiais.....	7
3.1.1.	<i>Granulometria</i>	<i>7</i>
3.1.1.1	<i>Especificação da granulometria para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste.....</i>	<i>10</i>
3.1.2.	<i>Qualidade dos finos</i>	<i>11</i>
3.1.2.1	<i>Especificação da qualidade dos finos para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste.....</i>	<i>12</i>
3.1.3.	<i>Forma dos agregados grossos e das fracções grossas (≥ 4 mm) dos agregados de granulometria extensa</i>	<i>12</i>
3.1.3.1	<i>Especificação do índice de achatamento para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste.....</i>	<i>13</i>
3.1.4.	<i>Percentagem de partículas esmagadas e partidas dos agregados grossos e das fracções grossas (≥ 4 mm) dos agregados de granulometria extensa</i>	<i>13</i>
3.1.4.1	<i>Especificação da percentagem de partículas esmagadas e partidas para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste</i>	<i>14</i>
3.1.5.	<i>Massa volúmica das partículas e absorção de água</i>	<i>14</i>
3.1.5.1	<i>Especificação da massa volúmica das partículas e da absorção de água para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste</i>	<i>15</i>
3.1.6.	<i>Resistência à fragmentação.....</i>	<i>16</i>
3.1.6.1	<i>Especificação da resistência à fragmentação (Coeficiente Los Angeles) para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste</i>	<i>16</i>
3.1.7.	<i>Resistência ao desgaste por atrito, através do coeficiente micro-Deval</i>	<i>17</i>

3.1.7.1	<i>Especificação da resistência ao desgaste por atrito (Coeficiente micro-Deval) para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste</i>	17
3.1.8.	<i>Resistência ao polimento</i>	18
3.1.8.1	<i>Especificação da resistência ao polimento (PSV) para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste</i>	18
3.1.9.	<i>Resistência ao gelo-degelo</i>	18
3.1.9.1	<i>Especificação da resistência ao gelo-degelo para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste</i>	21
3.1.10.	<i>Resistência ao choque térmico</i>	21
3.1.10.1	<i>Especificação da resistência ao choque térmico para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste</i>	22
3.1.11.	<i>Afinidade dos agregados aos ligantes betuminosos</i>	22
3.1.11.1	<i>Especificação da afinidade agregado-betume para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste</i>	23
3.1.12.	<i>Sonnenbrand dos basaltos</i>	23
3.1.12.1	<i>Especificação da resistência ao sonnenbrand para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste</i>	24
3.1.13.	<i>Desintegração do silicato bicálcico das escórias de alto-forno arrefecidas ao ar</i>	25
3.1.13.1	<i>Especificação da desintegração do silicato bicálcico das escórias de alto-forno arrefecidas ao ar a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste</i>	25
3.1.14.	<i>Desintegração do ferro das escórias de alto-forno arrefecidas ao ar</i>	25
3.1.14.1	<i>Especificação da desintegração do ferro das escórias de alto-forno arrefecidas ao ar a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste</i>	25
3.1.15.	<i>Estabilidade volumétrica dos agregados de escória de aciaria</i>	25
3.1.15.1	<i>Especificação da estabilidade volumétrica das escórias de aciaria a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste</i>	26
3.2.	<i>requisitos dos fileres para misturas betuminosas e revestimentos superficiais</i>	26
3.2.1.	<i>Granulometria</i>	26
3.2.1.1	<i>Especificação da granulometria dos fileres a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste</i>	26

3.2.2. Massa volúmica e absorção de água.....	27
3.2.2.1 Especificação da massa volúmica e absorção de água dos fíleres a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste	27
3.2.3. Azul de metileno	27
3.2.3.1 Especificação do valor de azul de metileno dos fíleres a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste	27
3.2.4. Teor de água	27
3.2.5. Vazios do fíler seco compactado (Rigden).....	27
3.2.5.1 Especificação dos valores de vazios dos fíleres secos compactados (Rigden) a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste	28
3.2.6. Variação da temperatura anel e bola	28
3.2.6.1 Especificação dos valores de variação da temperatura anel e bola dos fíleres a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste	28
3.2.7. Regularidade da produção	29
4. AGREGADOS PARA MISTURAS NÃO LIGADAS OU TRATADAS COM LIGANTES HIDRÁULICOS.....	29
5. BIBLIOGRAFIA	30

PÁGINA PROPOSITADAMENTE EM BRANCO

DOCUMENTO BASE

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS PARA A CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS AGREGADOS

1. OBJECTIVOS E CAMPO DE APLICAÇÃO

1.1. OBJECTIVOS

O objectivo da presente Disposição Técnica é o de estabelecer as especificações técnicas de agregados para cumprimento harmonizado por todas as concessionárias de estradas nas obras de construção e/ou reabilitação de pavimentos.

A elaboração de especificações técnicas de materiais e dos processos construtivos para inclusão nos actuais cadernos de encargos de execução e manutenção de infra-estruturas dos diversos donos de obra nacionais permite dotar as empreitadas nacionais de critérios adequados e uniformes.

Quando existam Normas Europeias, EN, para a especificação dos agregados estas devem ser utilizadas. É o caso dos agregados para betão (EN 12620), dos agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais (EN 13043), dos agregados para argamassas (EN 13139), dos agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em camadas de sub-base e base (EN 13242), dos agregados leves para betão, argamassas e caldas (EN 13055-1) e dos agregados leves para misturas betuminosas e tratamentos superficiais e para misturas não ligadas ou tratadas (EN 13055-2). Os agregados para argamassas e os agregados leves estão excluídos do âmbito desta disposição normativa pela pouca relevância que têm em obras rodoviárias.

Nas normas europeias, o desempenho dos agregados é descrito através de categorias, valores limite aceitação/rejeição ou valores declarados relativamente às características essenciais do Mandato Europeu “M/125 *Aggregates*”.

As características essenciais especificadas no Mandato são as que constam nos anexos ZA das respectivas normas harmonizadas. A conformidade relativamente a estas características, como estipulado nas normas europeias, deve ser demonstrada pelo produtor através dos “ensaios de tipo iniciais” e pelo “controlo da produção em fábrica”, sujeito ao sistema de atestação da conformidade 2+, permitindo a aposição da marcação CE.

Sempre que ocorram alterações nos materiais base ou no processo de produção que alterem significativamente uma ou mais características do

agregado, os ensaios de tipo inicial devem ser repetidos para as características afectadas.

Quando a conformidade com os requisitos relativos às características essenciais é obtida, e uma vez que o organismo notificado tenha emitido o certificado de conformidade CE, se requerido, o produtor, ou o seu agente estabelecido dentro do Espaço Económico Europeu (EEE), deve redigir e manter uma declaração de conformidade, a qual habilita o produtor a afixar a marcação CE.

O produtor, ou o seu agente estabelecido dentro do EEE, é responsável pela afixação da marcação CE. O símbolo da marcação CE a afixar deve estar de acordo com a Directiva 93/68/EC e deve figurar na etiqueta, na embalagem ou nos documentos comerciais que acompanham o produto, por exemplo, uma guia de remessa.

Nos documentos referidos nos dois parágrafos anteriores, o produtor, ou o seu agente estabelecido dentro do EEE, deve declarar o desempenho dos produtos que comercializa relativamente a todas características essenciais excepto para aquelas que para uma determinada utilização prevista não sejam sujeitas a requisitos regulamentares, para as quais poderá declarar “Desempenho Não Determinado - DND”. A opção DND não poderá ser utilizada quando a propriedade é sujeita a um limite de aceitação/rejeição.

Num determinado empreendimento a indicação dos agregados deve estar definida no projecto de execução, de forma clara e com a justificação dos requisitos propostos.

O fornecimento dos agregados na obra deve ser acompanhado da respectiva Declaração de Conformidade CE, Certificado de Conformidade CE, se requerido, ficha técnica, bem como dos relatórios de ensaios que caracterizem o respectivo lote de fabrico.

A colheita de amostras para os ensaios laboratoriais deve ser feita de acordo com a EN 932-1 e a preparação das amostras para determinação em laboratório das características deve cumprir a EN 932-2.

1.2. TIPOS DE AGREGADOS

Os agregados constantes da presente Disposição Técnica são os obtidos a partir do processamento de materiais naturais, artificiais ou reciclados.

Em função da sua dimensão, estes agregados podem ser:

- fíleres;
- agregados finos;
- agregados grossos; ou

- agregados de granulometria extensa.

Em função da massa volúmica das suas partículas, estes agregados podem ser:

- agregados de densidade normal; ou
- agregados leves.

1.3. MATRIZ DE APLICAÇÃO

Os agregados a empregar devem estar definidos no projecto de execução e a razão da escolha deve ser devidamente justificada.

Os agregados são empregues, essencialmente, no fabrico dos seguintes tipos de materiais:

- Betão hidráulico;
- Misturas betuminosas e revestimentos superficiais;
- Argamassas;
- Misturas não ligadas ou tratadas com ligantes hidráulicos.

1.4. DEFINIÇÕES

As Normas Europeias EN 12620, EN 13043, EN 13055-1, EN 13055-2, EN 13139, e EN 13242 incluem as principais definições aplicadas aos agregados, nomeadamente as que se apresentam de seguida.

Agregado: Material granular utilizado na construção. O agregado pode ser natural, artificial ou de reciclado.

Agregado natural: Agregado de origem mineral que foi sujeito apenas a processamento mecânico.

Agregado artificial: Agregado de origem mineral resultante de um processo industrial compreendendo modificações térmicas ou outras.

Agregado reciclado: Agregado resultante do processamento de materiais inorgânicos anteriormente utilizados na construção.

Agregado de massa volúmica normal: Agregado de origem mineral tendo uma massa volúmica das partículas não inferior a $2,00 \text{ Mg/m}^3$ mas inferior a $3,00 \text{ Mg/m}^3$.

Agregado leve: Agregado de origem mineral com uma massa volúmica das partículas que não exceda os $2,00 \text{ Mg/m}^3$ ou com uma baridade não superior a $1,20 \text{ Mg/m}^3$.

Dimensão do agregado: Designação do agregado em termos das aberturas do peneiro inferior (d) e do superior (D), expressa como d/D.

NOTA: Esta designação admite a presença de algumas partículas retidas no peneiro superior (sobretamanhos) e de algumas que passam no peneiro inferior (subtamanhos). A dimensão inferior, d , pode ser zero.

Subtamanho: Parte do agregado que passa no peneiro de menor dimensão utilizado na definição da dimensão do agregado.

Sobretamanho: Parte do agregado que fica retida no peneiro de maior dimensão utilizado na definição da dimensão do agregado.

Agregado fino (EN 12620 e EN 13139): Designação dada aos agregados com partículas de menores dimensões em que D é menor ou igual a 4 mm.

Agregado fino (EN 13043): Designação dada aos agregados com partículas de menores dimensões em que D é menor ou igual a 2 mm e em que a maior parte das partículas fica retida no peneiro de 0,063 mm.

Agregado fino (EN 13242): Designação dada aos agregados de menores dimensões em que d é igual a 0 e D é menor ou igual a 6,3 mm (ver Quadro 2).

NOTA: O agregado fino pode resultar da desintegração natural das rochas massivas ou móveis e/ou da sua britagem ou do processamento de agregados artificiais.

Agregado grosso (EN 12620 e EN 13139): Designação dada aos agregados de maiores dimensões em que D é maior ou igual a 4 mm e d é maior ou igual a 2 mm.

Agregado grosso (EN 13043): Designação dada aos agregados de maiores dimensões em que D é menor ou igual a 45 mm e d é maior ou igual a 1 mm e D é maior ou igual a 2 mm.

Agregado grosso (EN 13242): Designação dada aos agregados de maiores dimensões em que d é maior ou igual a 1 mm e D é maior que 2 mm.

Agregado de granulometria extensa (EN 12620, EN 13043 e EN13242): Agregado que consiste numa mistura de agregados grossos e agregados finos.

NOTA: Pode ser produzido sem separação das fracções grossa e fina ou pela mistura de agregados grossos e agregados finos.

Agregado fino: Designação dada aos agregados com partículas de menores dimensões em que D é menor ou igual a 4 mm e $d=0$.

Agregado grosso (próxima versão das 4 normas): Designação dada aos agregados de maiores dimensões em que D é maior do que 4 mm e d é maior ou igual a 1 mm.

NOTA Os agregados que não se ajustem às definições de agregados finos ou grossos (1/3 mm ou 2/4 mm) são tratados como grossos.

Agregado de granulometria extensa: Agregado que consiste numa mistura de agregados grossos e agregados finos com D maior que 4 mm e $d=0$.

NOTA: Pode ser produzido sem separação das fracções grossa e fina ou pela mistura de agregados grossos e agregados finos.

Agregado natural 0/8 mm: Designação dada ao agregado de origem fluvial ou glacial em que D é menor ou igual a 8 mm.

NOTA - Este agregado pode ser produzido pela mistura de agregados processados.

Finos: Fracção do agregado que passa no peneiro de 0,063 mm.

Fíler: Agregado cuja maior parte passa no peneiro de 0,063 mm e que pode ser adicionado aos materiais de construção para lhes conferir certas propriedades.

Fíler adicionado: Fíler de origem mineral que foi produzido separadamente.

Fíler aditivado (?ou misturado): Fíler de origem mineral ao qual foi adicionado hidróxido de cálcio.

Categoria: Nível de uma propriedade de um agregado expresso por um intervalo de valores ou por um valor limite. Não existe qualquer relação entre as categorias das diferentes propriedades.

Lote: Quantidade de produção, quantidade parcialmente fornecida (carga de vagão de comboio, carga de um camião, carga de um navio) ou uma pilha de material produzido de uma única vez em condições que se presumem uniformes.

NOTA - Em produção contínua, convém que a quantidade produzida durante um certo período seja tratada como um lote.

Granulometria: Distribuição dimensional das partículas que passam numa série especificada de peneiros, expressa pelas percentagens em massa.

2. AGREGADOS PARA BETÃO

Os agregados para betão devem cumprir os requisitos da Norma Europeia EN 12620 *Aggregates for concrete*. Esta norma especifica as propriedades e os respectivos métodos de ensaio adequados para a caracterização dos agregados que tenham uma massa volúmica após secagem em estufa superior a 2,00 Mg/m³ e que sejam destinados ao fabrico de betão, incluindo os betões conformes com a EN 206-1, os betões para construção de estradas e outros pavimentos e os betões com que se fabricam os produtos pré-fabricados de betão.

Conforme estabelece a norma europeia NP EN 206-1:2007/Emenda 1: 2008, na utilização dos agregados no betão devem seguir-se as disposições dos Quadros 1, 2, 4 e 5 da Especificação LNEC E 467 - “Guia para a utilização de agregados em betões de ligantes hidráulicos” e as disposições da Especificação LNEC E

471 - “Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos” para as aplicações indicadas nestas Especificações.

3. AGREGADOS PARA MISTURAS BETUMINOSAS E REVESTIMENTOS SUPERFICIAIS

Os agregados para misturas betuminosas e revestimentos superficiais devem cumprir os requisitos da Norma Europeia EN 13043 *Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas*. Esta norma especifica as propriedades e os respectivos métodos de ensaio adequados para a caracterização dos agregados a utilizar no fabrico de misturas betuminosas e revestimentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação.

Os agregados a utilizar no fabrico das misturas betuminosas a empregar nas camadas de base, regularização, ligação ou desgaste devem apresentar-se homogêneos e não devem conter matéria orgânica ou quaisquer substâncias estranhas, tais como madeira, vidro e plástico em quantidades que afectem de forma relevante o comportamento das misturas. Devem ser pouco susceptíveis à meteorização e apresentarem-se são ou pouco alterados (de acordo com os critérios propostos pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas - ISRM).

Entre as características dos agregados especificadas na norma EN 13043 consideram-se relevantes no âmbito das misturas betuminosas para camadas de base, regularização, ligação e desgaste as seguintes:

- Granulometria;
- Qualidade dos finos;
- Forma dos agregados grossos e das fracções grossas (≥ 4 mm) dos agregados de granulometria extensa;
- Percentagem de partículas esmagadas e partidas dos agregados grossos e das fracções grossas (≥ 4 mm) dos agregados de granulometria extensa;
- Resistência à fragmentação, através do coeficiente Los Angeles;
- Resistência ao desgaste por atrito, através do coeficiente micro-Deval;
- Resistência ao polimento acelerado, unicamente para as misturas betuminosas a aplicar em camadas de desgaste;
- Massa volúmica das partículas e absorção de água;
- Resistência ao gelo-degelo
- Resistência ao choque térmico;
- Afinidade aos ligantes betuminosos;
- *Sonnenbrand* dos basaltos;

- Desintegração do silicato bicálcico das escórias de alto-forno arrefecidas ao ar;
- Desintegração do ferro das escórias de alto-forno arrefecidas ao ar; e
- Estabilidade volumétrica dos agregados de escória de aciaria.

No caso específico das características dos fileres utilizados nas misturas betuminosas para camadas de base, regularização e ligação consideram-se relevantes as seguintes:

- Granulometria;
- Massa volúmica e absorção de água;
- Azul de metileno;
- Teor de água;
- Vazios do fíler seco compactado (Rigden);
- Variação da temperatura anel e bola; e
- Regularidade da produção.

Nas subsecções seguintes apresentam-se as directivas para a especificação das características relevantes no contexto destas aplicações.

3.1. REQUISITOS DOS AGREGADOS GROSSOS, FINOS E DE GRANULOMETRIA EXTENSA PARA MISTURAS BETUMINOSAS E REVESTIMENTOS SUPERFICIAIS

3.1.1. Granulometria

Em função da sua granulometria, o agregado pode classificar-se entre um dos seguintes grupos dimensionais:

- Fíler;
- Agregado fino;
- Agregado grosso; e
- Agregado de granulometria extensa;

A granulometria de um agregado é descrita de forma distinta consoante o grupo dimensional a que pertence o agregado.

No caso dos agregados finos, grossos e de granulometria extensa, a granulometria é descrita através do método de ensaio especificados pelas normas EN 933-1 e 933-2, tendo como ponto de partida a “dimensão” do agregado, d/D , e verificando para ela os “requisitos gerais”, os “limites gerais e tolerâncias para o peneiro intermédio” e as “tolerâncias da granulometria típica”. Relativamente à granulometria destes agregados ainda se especifica o “conteúdo de finos”.

A dimensão do agregado “d/D” é definida tendo em conta que a maior parte das partículas do agregado têm diâmetros compreendidos entre os peneiros de aberturas “d” e “D”. No caso dos agregados finos e de granulometria extensa a dimensão é 0/D.

Quando se define a dimensão do agregado d/D espera-se que passe uma pequena % de partículas no peneiro de abertura “d” e que fique retida uma pequena % de partículas no peneiro de abertura “D”.

A definição da dimensão deve ser feita escolhendo um par de diâmetros d/D numa das séries apresentadas no Quadro 1, tendo o cuidado de utilizar uma única série. Não é correcto, por exemplo, escolher um dos diâmetros na série “Base + 1” e o outro na série “Base + 2”.

Quadro 1 - Aberturas dos peneiros para especificar as dimensões do agregado

Série base mm	Série base mais a série 1 mm	Série base mais a série 2 mm
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5,6 (5)	-
-	-	6,3 (6)
8	8	8
-	-	10
-	11,2 (11)	-
-	-	12,5 (12)
-	-	14
16	16	16
-	-	20
-	22,4 (22)	-
31,5 (32)	31,5 (32)	31,5 (32)
-	-	40
-	45	-
63	63	63

NOTA - Os valores arredondados de aberturas de peneiros indicados entre parêntesis podem ser utilizados como descrições simplificadas das dimensões do agregado.

Para a definição correcta da dimensão do agregado é necessário:

- em 1º lugar, verificar o cumprimento dos requisitos gerais da granulometria, escolhendo para o efeito uma das categorias apresentadas no Quadro 3 e verificando os limites especificados para os diâmetros “2D”, “1,4D”, “D”, “d” e “d/2”. No caso dos agregados finos e de granulometria extensa não se aplicam limites para “d” e “d/2”;

Quadro 2 - Requisitos gerais para a granulometria de agregados finos, grossos ou de granulometria extensa

Agregado	% de passados, em massa					Categoria G
	2 D	1,4 D ⁽¹⁾	D ⁽²⁾	d	d/2	
Grosso	100	100	90 a 99	0 a 10	0 a 2	G _C 90/10
	100	98 a 100	90 a 99	0 a 15	0 a 5	G _C 90/15
	100	98 a 100	90 a 99	0 a 20	0 a 5	G _C 90/20
	100	98 a 100	85 a 99	0 a 15	0 a 2	G _C 85/15
	100	98 a 100	85 a 99	0 a 20	0 a 5	G _C 85/20
	100	98 a 100	85 a 99	0 a 35	0 a 5	G _C 85/35
Fino	100	---	85 a 99	---	---	G _F 85
Granulometria extensa	100	98 a 100	90 a 99	---	---	G _A 90
	100	98 a 100	85 a 99	---	---	G _A 85

Nota 1 – Quando as aberturas dos peneiros calculadas como 1,4 D e d/2 não corresponderem a números exactos das dimensões de malhas das séries de peneiros R20 da ISO 565:1990, deve ser adoptado o peneiro com a abertura mais próxima

Nota 2 – A percentagem de passados em D pode ser superior a 99%, mas em tais casos o produtor deve documentar e declarar a granulometria típica, incluindo os peneiros D, d, e d/2 e os peneiros da série base mais a série 1 ou da série base mais a série 2 intermédia entre d e D. Os peneiros com uma relação inferior a 1,4 vezes relativamente ao peneiro inferior mais próximo, podem ser excluídos

- em 2º lugar, consoante se trate de um agregado grosso ou de um agregado fino ou de granulometria extensa, verificar respectivamente:
 - no caso dos agregados grossos, o cumprimento dos “limites gerais e tolerâncias para o peneiro intermédio”, escolhendo para o efeito uma das categorias apresentadas no Quadro 3 - A verificação destes requisitos está dispensada a agregados cuja relação D/d seja inferior a 2; e

Quadro 3 - Limites gerais e tolerâncias da granulometria para o peneiro intermédio de agregados grossos

D/d	Peneiro intermédio ⁽¹⁾ mm	Limites gerais e tolerâncias para o peneiro intermédio (% de passados, em massa)		Categoria G _T
		Limites gerais	Tolerância na granulometria típica	
< 4	D/1,4	25 a 80	± 15	G _{25/15}
		20 a 70		G _{20/15}
≥ 4	D/2	20 a 70	± 17,5	G _{20/17,5}
Não requerido				G _{NR}

Nota 1 – Quando a abertura do peneiro intermédio, calculada como acima indicado, não corresponder a nenhuma dimensão de malha da série de peneiros R20 da ISO 565:1990, deve ser adoptado o peneiro com a abertura mais próxima

- no caso dos agregados finos ou de granulometria extensa, o cumprimento das “tolerâncias da granulometria típica”, escolhendo para o efeito uma das categorias apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Tolerâncias da granulometria típica declarada pelo produtor de agregados finos e de agregados de granulometria extensa

Tolerâncias % de passados, em massa			Categoria	
Peneiro D	Peneiro D/2	Peneiro 0,063	Agregado Fino	Agregado de Granulometria Extensa
± 5	± 10	± 3	G _{TC} 10	G _{TC} 10
± 5	± 20	± 3	G _{TC} 20	G _{TC} 20
Não requerido			G _{TC} NR	G _{TC} NR

Por último, na descrição da granulometria de um agregado considera-se ainda o conteúdo de finos, ou seja a percentagem de partículas que passam no peneiro 0,063mm, que é descrito através de categorias conforme apresentado no Quadro 10.

Quadro 5 - Categorias para os valores máximos do conteúdo de finos

Tipo de agregado	Conteúdo de finos (< 0,063 mm)	Categoria – <i>f</i>
Grosso	≤ 0,5	<i>f</i> _{0,5}
	≤ 1	<i>f</i> ₁
	≤ 2	<i>f</i> ₂
	≤ 4	<i>f</i> ₄
	> 4	<i>f</i> _{Declarado}
	Não requerido	<i>f</i> _{NR}
Fino	≤ 3	<i>f</i> ₃
	≤ 10	<i>f</i> ₁₀
	≤ 16	<i>f</i> ₁₆
	≤ 22	<i>f</i> ₂₂
	> 22	<i>f</i> _{Declarado}
	Não requerido	<i>f</i> _{NR}

3.1.1.1 Especificação da granulometria para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste

A granulometria dos agregados é uma característica que pode condicionar de forma muito relevante o desempenho das misturas em que são empregues devendo, por isso, ser tida em conta nos estudos de formulação das misturas betuminosas e ser controlada no âmbito da monitorização dos processos de fabrico das misturas pelos seus produtores.

A regularidade das características de uma mistura betuminosa depende em grande medida da regularidade da granulometria dos agregados que a constituem.

Deve pois competir ao produtor das misturas betuminosas a selecção das dimensões dos agregados e das categorias relativas aos “requisitos gerais da granulometria” dos agregados finos, grossos e de granulometria extensa (Quadro 2), “limites gerais e tolerâncias da granulometria para o peneiro

intermédio” dos agregados grossos (Quadro 3), “tolerâncias da granulometria declarada pelo produtor” dos agregados finos e de granulometria extensa (Quadro 4) e dos “valores máximos do conteúdo de finos” dos agregados finos e grossos (Quadro 5). Da escolha adequada destas categorias dependerá em larga medida a capacidade do produtor das misturas betuminosas cumprir os requisitos estabelecidos pelas normas das misturas betuminosas, nomeadamente as EN 13108.

3.1.2. Qualidade dos finos

Quando o conteúdo de finos de um agregado fino ou de granulometria extensa 0/D, com $D \leq 8$ mm, é inferior ou igual a 3% ou a outro valor especificado pelas disposições em vigor no local de utilização do agregado, considera-se que o agregado não apresenta problemas relativamente à qualidade dos finos.

Se o conteúdo de finos for superior a 3%, os finos podem ser considerados não prejudiciais caso se verifique uma das seguintes condições:

- a) O valor do equivalente de areia da fracção 0/2 mm (SE), com correcção do teor de finos, limitando-o a 10%, determinado de acordo com a EN 933-8 e declarado pela categoria relevante do Quadro 6, for superior a um limite inferior especificado;

Quadro 6 - Categorias para os valores mínimos de equivalente de areia

Equivalente de areia	Categoria – SE
≥ 55	SE ₅₅
Não requerido	SE _{NR}

- b) O valor do ensaio de azul de metileno da fracção 0/2 mm (MB), quando determinado de acordo com a EN 933-9 e declarado pela categoria relevante do Quadro 7, for inferior a um determinado limite especificado;

Quadro 7 - Categorias para os valores máximos de azul de metileno

Valor de azul de metileno	Categoria – MB
≤ 2	MB ₂
Não requerido	MB _{NR}

- c) Evidencie desempenho equivalente ao de um agregado considerado satisfatório ou desde que haja evidência do seu emprego satisfatório, sem que tenham resultado problemas.

Sempre que o teor de finos for superior a 10% deve complementar-se a avaliação da qualidade dos finos, avaliando-se a sua conformidade relativamente aos restantes requisitos aplicáveis aos fíleres.

3.1.2.1 Especificação da qualidade dos finos para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste

Para a generalidade das aplicações dos agregados finos ou de granulometria extensa em misturas betuminosas e sempre que o seu conteúdo de finos seja superior a 3% deve requerer-se o cumprimento da categoria MB₂ ou da categoria SE₅₅ para a avaliação da qualidade dos finos, bastando verificar o cumprimento de uma destas categorias para se assegurar a adequação do agregado às aplicações em causa.

3.1.3. Forma dos agregados grossos e das fracções grossas (≥ 4 mm) dos agregados de granulometria extensa

No caso dos agregados grossos e da fracção grossa dos agregados de granulometria extensa, a avaliação do desempenho quanto à forma das partículas faz-se por via de um de dois métodos alternativos, a saber:

- Índice de achatamento (FI), segundo o procedimento especificado pela norma EN 933-3;
- Índice de forma (SI), segundo o procedimento especificado pela norma EN 933-4.

Embora estejam disponíveis estes dois métodos para avaliar a forma dos agregados, considera-se como método de referência o índice de achatamento.

Com base nos valores de índice de achatamento descreve-se o desempenho do agregado através da escolha de uma categoria que se lhes ajuste, nos termos apresentados nos Quadro 8.

Quadro 8 - Categorias para os valores máximos de índice de achatamento

Índice de achatamento	Categoria – FI
≤ 10	FI ₁₀
≤ 15	FI ₁₅
≤ 20	FI ₂₀
≤ 25	FI ₂₅
≤ 30	FI ₃₀
≤ 35	FI ₃₅
≤ 40	FI ₄₀
≤ 50	FI ₅₀
> 50	FI _{Declarado}
Não requerido	FI _{NR}

3.1.3.1 Especificação do índice de achatamento para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste

No Quadro 9 são apresentadas as categorias a requerer para o índice de achatamento (FI) dos agregados a utilizar no fabrico de misturas betuminosas em função do tipo de aplicação.

Quadro 9 - Categorias FI a requerer para os agregados destinados ao fabrico de misturas betuminosas

Aplicação		Categoria FI a requerer
Camada de base		FI ₂₅
Camada de ligação		FI ₂₀
Camada de regularização		FI ₂₀
Camada de desgaste	Betão betuminoso	FI ₂₀
	Betão betuminoso rugoso	FI ₁₅
	Betão betuminoso drenante	FI ₁₀
	Gravilhas de incrustação	FI ₁₀

3.1.4. Percentagem de partículas esmagadas e partidas dos agregados grossos e das fracções grossas (≥ 4 mm) dos agregados de granulometria extensa

No caso dos agregados de origem marinha ou aluvionar importa avaliar se e quanto as partículas que constituem o agregado foram sujeitas a processos de britagem. Para o efeito, os agregados são ensaiados pelo método especificado pela norma EN 933-5, determinando-se a percentagem de partículas esmagadas ou partidas. Este método de ensaio consiste na inspecção visual das partículas do agregado e sua separação em 4 grupos de partículas, determinado o peso relativo de cada um deles, a saber:

- partículas semi-britadas, incluindo as totalmente britadas;
- partículas semi-roladas, incluindo as totalmente roladas;
- partículas totalmente britadas, separadas a partir do primeiro grupo; e
- partículas totalmente roladas, separadas a partir do segundo grupo.

Com base nas percentagens de alguns destes grupos de partículas classificam-se os agregados, seguindo os critérios apresentados no Quadro 10.

Nota - Na designação desta propriedade utilizam-se os termos “esmagadas” e “partidas” uma vez que no processo de britagem as partículas quebram por esmagamento, por acção de compressão, e por corte, por acção da pancada de um martelo ou impactor.

Quadro 10 - Categorias para a percentagem de partículas esmagadas e partidas

Percentagem de partículas:			Categoria – C
Totalmente britadas ^(*)	Semi-britadas ^(*)	Totalmente roladas	EN 13043 Agregados para misturas betuminosas
90 a 100	100	0	C _{100/0}
30 a 100	95 a 100	0 a 1	C _{95/1}
—	90 a 100	0 a 1	C _{90/1}
—	50 a 100	0 a 10	C _{50/10}
—	50 a 100	0 a 30	C _{50/30}
—	< 50	> 30	C _{Declarado}
Não requerido			C _{NR}

Nota – Por partículas britadas entende-se partículas esmagadas e/ou partidas

3.1.4.1 Especificação da percentagem de partículas esmagadas e partidas para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste

No Quadro 11 são apresentadas as categorias a requerer para a percentagem de partículas esmagadas e partidas (C) dos agregados a utilizar no fabrico de misturas betuminosas em função do tipo de aplicação.

Quadro 11 - Categorias C a requerer para os agregados destinados ao fabrico de misturas betuminosas

Aplicação		Categoria C a requerer
Camada de base		C _{90/1}
Camada de ligação		
Camada de regularização		
Camada de desgaste	Betão betuminoso	C _{95/1}
	Betão betuminoso rugoso	
	Betão betuminoso drenante	
	Gravilhas de incrustação	

3.1.5. Massa volúmica das partículas e absorção de água

As massas volúmicas e a absorção de água são avaliadas por procedimentos distintos, dependendo o procedimento da dimensão das partículas do agregado, podendo um agregado ter de ser ensaiado por partes, sendo cada uma das partes ensaiada de forma distinta.

No Quadro 12 apresentam-se os diferentes tipos de parâmetros determinados e os correspondentes métodos de ensaio relativos às diferentes fracções granulométricas.

Para nenhum dos parâmetros apresentados no Quadro 12 as normas europeias estabelecem valores limite ou categorias, requerendo unicamente que os resultados sejam declarados. Relativamente à forma como são declarados os valores não são dadas quaisquer orientações. O produtor pode, pois, declarar, por exemplo, um valor médio, o último valor obtido ou um intervalo de

valores. Esta questão coloca-se para todas as propriedades cujo desempenho deve ser simplesmente declarado.

Quadro 12 - Procedimentos de ensaio para determinação das massas volúmicas e absorção de água

Parâmetro	Fracção granulométrica			
	Filer D≤0,063 mm	0,063/4 mm	4/31,5 mm	31,5/63 mm
pa – Massa volúmica do material impermeável das partículas [Mg/m ³]	Método do picnómetro (EN 1097-7)	Método do picnómetro (EN 1097-6 secção 9)	Método do picnómetro (EN 1097-6 secção 8)	Método do cesto de rede (EN 1097-6 secção 7)
prd – Massa volúmica das partículas secas em estufa [Mg/m ³]				
pssd – Massa volúmica das partículas saturadas e com a superfície seca [Mg/m ³]				
WA₂₄ – Absorção de água após 24h de imersão [%]				

Relativamente ao parâmetro absorção de água são estabelecidas categorias, mas unicamente no contexto da resistência ao gelo-degelo, enquanto método de triagem.

3.1.5.1 Especificação da massa volúmica das partículas e da absorção de água para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste

Embora as propriedades mecânicas e de meteorização dos agregados possam estar dependentes da massa volúmica das suas partículas, este parâmetro não é habitualmente utilizado para avaliar a sua adequação ao uso em misturas betuminosas, pelo que se recomenda que o valor da massa volúmica seja unicamente declarada enquanto propriedade identificadora do agregado, não estabelecendo qualquer valor limite aceitação/rejeição. Dado que o valor da massa volúmica de um agregado pode variar em função da heterogeneidade da rocha e do maciço rochoso que está na sua origem, recomenda-se que os valores de massa volúmica das partículas (**pa**, **prd** e **pssd**) sejam declarados em termos de valores médios considerando uma tolerância de 0,05 Mg/m³.

A absorção de água permite caracterizar os agregados quanto à sua porosidade. Uma elevada porosidade pode indiciar, nalguns casos, um estado de alteração elevado. Por outro lado, uma elevada porosidade pode levar a um consumo mais elevado de betume, pelo que é conveniente limitar os valores de absorção dos agregados utilizados no fabrico de misturas betuminosas.

No Quadro 13 apresentam-se os valores de absorção de água a requerer para os agregados a utilizar no fabrico de misturas betuminosas.

Quadro 13 - Valores de absorção de água a requerer para os agregados destinados ao fabrico de misturas betuminosas

Aplicação		Categoria C a requerer
Camada de base		3%
Camada de ligação		
Camada de regularização		
Camada de desgaste	Betão betuminoso	2%
	Betão betuminoso rugoso	
	Betão betuminoso drenante	
	Gravilhas de incrustação	

3.1.6. Resistência à fragmentação

A resistência à fragmentação dos agregados grossos e da fracção grossa dos agregados de granulometria extensa é avaliada através de um de dois ensaios alternativos, designadamente através do ensaio Los Angeles ou através do ensaio de resistência ao impacto, especificados pela norma EN 1097-2, sendo o primeiro considerado como método de referência. Em Portugal utiliza-se o ensaio Los Angeles para avaliar a resistência à fragmentação dos agregados.

O desempenho do agregado relativamente à resistência à fragmentação pelo método Los Angeles deve ser descrito através de uma das categorias apresentadas no Quadro 14.

Quadro 14 - Categorias para os valores máximos de coeficiente Los Angeles

Coeficiente Los Angeles	Categoria – LA
≤ 15	LA ₁₅
≤ 20	LA ₂₀
≤ 25	LA ₂₅
≤ 30	LA ₃₀
≤ 35	LA ₃₅
≤ 40	LA ₄₀
≤ 50	LA ₅₀
> 50	LA _{Declarado}
Não requerido	LA _{NR}

3.1.6.1 Especificação da resistência à fragmentação (Coeficiente Los Angeles) para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste

No Quadro 15 apresentam-se as categorias a requerer para o coeficiente Los Angeles dos agregados a utilizar no fabrico de misturas betuminosas.

Em regiões onde não existam agregados que se enquadrem na categoria LA₃₀ é aceitável que se requeira a categoria LA₃₅.

Quadro 15 - Categorias LA a requerer para os agregados destinados ao fabrico de misturas betuminosas

Aplicação		Categoria LA a requerer
Camada de base		LA ₄₀
Camada de ligação		LA ₃₅
Camada de regularização		LA ₃₅
Camada de desgaste	Betão betuminoso	LA ₃₀
	Betão betuminoso rugoso	LA ₃₀
	Betão betuminoso drenante	LA ₃₀
	Gravilhas de incrustação	LA ₃₀

3.1.7. Resistência ao desgaste por atrito, através do coeficiente micro-Deval

A resistência ao desgaste por atrito em meio húmido dos agregados grossos e da fracção grossa dos agregados de granulometria extensa é avaliada através do ensaio micro-Deval, especificado pela norma EN 1097-1, devendo o desempenho do agregado relativamente a esta propriedade mecânica ser descrito através de uma das categorias apresentadas no Quadro 16.

Quadro 16 - Categorias para os valores máximos de coeficiente micro-Deval

Coefficiente micro-Deval	Categoria – M _{DE}
≤ 10	M _{DE} 10
≤ 15	M _{DE} 15
≤ 20	M _{DE} 20
≤ 25	M _{DE} 25
≤ 35	M _{DE} 35
> 35	M _{DE} Declarado
Não requerido	M _{DE} NR

3.1.7.1 Especificação da resistência ao desgaste por atrito (Coeficiente micro-Deval) para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste

No Quadro 17 apresentam-se as categorias a requerer para o coeficiente micro-Deval dos agregados a utilizar no fabrico de misturas betuminosas.

Quadro 17 - Categorias MDE a requerer para os agregados destinados ao fabrico de misturas betuminosas

Aplicação		Categoria M _{DE} a requerer
Camada de base		M _{DE} 25
Camada de ligação		M _{DE} 20
Camada de regularização		M _{DE} 20
Camada de desgaste	Betão betuminoso	M _{DE} 15
	Betão betuminoso rugoso	M _{DE} 15
	Betão betuminoso drenante	M _{DE} 15
	Gravilhas de incrustação	M _{DE} 15

3.1.8. Resistência ao polimento

A resistência ao polimento dos agregados grossos usados em misturas betuminosas ou em betão, aplicados em camadas de desgaste de pavimentos, é avaliada através do ensaio do polimento acelerado, especificado pela norma EN 1097-8, devendo o desempenho do agregado relativamente a esta propriedade mecânica ser descrito através de uma das categorias apresentadas no Quadro 18.

Quadro 18 - Categorias para os valores mínimos de resistência ao polimento - PSV

Coefficiente de polimento acelerado	Categoria – PSV
≥ 68	PSV ₆₈
> 62	PSV ₆₂
≥ 56	PSV ₅₆
≥ 50	PSV ₅₀
≥ 44	PSV ₄₄
< 44	PSV _{Declarado}
Não requerido	PSV _{NR}

3.1.8.1 Especificação da resistência ao polimento (PSV) para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste

No Quadro 19 apresentam-se as categorias a requerer para o coeficiente PSV dos agregados a utilizar no fabrico de misturas betuminosas.

Quadro 19 - Categorias PSV a requerer para os agregados destinados ao fabrico de misturas betuminosas

Aplicação	Categoria M _{DE} a requerer	
Camada de base	Não requerido	
Camada de ligação	Não requerido	
Camada de regularização	Não requerido	
Camada de desgaste	Betão betuminoso	PSV ₅₀
	Betão betuminoso rugoso	
	Betão betuminoso drenante	
	Gravilhas de incrustação	

3.1.9. Resistência ao gelo-degelo

A susceptibilidade de um agregado sofrer degradação por acção do gelo-degelo depende principalmente:

- da sua natureza petrográfica e da distribuição dimensional dos poros no interior das suas partículas - A resistência à acção do gelo-degelo está relacionada com a resistência das partículas do agregado e com o tamanho e distribuição dos poros no interior das partículas. Agregados sensíveis, derivados de rochas muito alteradas ou de alguns conglomerados e brechas, podem incluir, por exemplo, os seguintes materiais: xisto, micaxisto, filito, cré, marga, argilito, basalto poroso recente ou partículas fracamente cimentadas por minerais argilosos;

- do tipo de mistura em que o agregado é aplicado - Caso o agregado esteja revestido por um ligante que dificulte a entrada de água e de sais no interior dos seus poros o risco de degradação diminui;
- do clima a que vai estar sujeita a mistura onde o agregado é aplicado - A gravidade da degradação está relacionada com a frequência dos ciclos de gelo-degelo, a intensidade do gelo e do degelo; e
- das condições de saturação em água a que vão estar expostas as estruturas onde são aplicadas as misturas, sendo o risco de degradação significativamente aumentado no caso da estrutura se encontrar exposta à água do mar.

Relativamente ao clima e às condições de utilização dos agregados, as normas europeias tipificam as situações mais correntes, classificando-as de “A” a “D”, sendo que de “A” para “D” decresce a severidade das condições a que está sujeito o agregado, diminuindo, portanto, o risco de alterabilidade. No Quadro 20 apresenta-se a classificação adoptada pelas normas europeias para a severidade da acção gelo-degelo em função do clima e da utilização.

Quadro 20 - Classificação da severidade da acção do gelo-degelo em função do clima e da utilização

Condições de utilização	Clima		
	Mediterrânico	Atlântico	Continental ^a
	Categoria		
Sem gelo ou estado seco	D	D	D
Saturação parcial, sem sal	D	C	B
Saturado, sem sal	D	B	A
Sal (água do mar ou superfície de estrada)	C	B	A

A avaliação da resistência ao gelo-degelo faz-se por via de um processo sequencial que se inicia com uma fase de triagem, através de análise petrográfica ou através da avaliação da porosidade do agregado, em termos da sua absorção de água, seguida, no caso dos agregados em que a fase de triagem aponte para agregados potencialmente sensíveis, por uma avaliação efectiva da resistência ao gelo-degelo por via de um dos seguintes métodos:

- resistência ao gelo-degelo, segundo a norma EN 1367-1; e
- ensaio do sulfato de magnésio, segundo a norma EN 1367-2.

No caso dos agregados para misturas betuminosas, a normas EN 13043 estabelece que o agregado pode ser considerado resistente à acção do gelo-degelo se:

- a absorção de água do agregado, determinada de acordo com as secções 7 ou 8 da norma EN 1097-6, for inferior aos valores das categorias WA₂₄₁ ou WA₂₄₂, conforme Quadro 21; ou

Quadro 21 - Categorias para os valores máximos da absorção de água segundo as secções 7 e 8 da EN 1097-6

Absorção de água % em massa	Categoria WA ₂₄
≤ 1	WA ₂₄ 1
≤ 2	WA ₂₄ 2

- a absorção de água do agregado, determinada de acordo com o Anexo B da norma EN 1097-6, for inferior ao valor da categoria WA_{cm}0,5, conforme Quadro 27.

Quadro 22 - Categorias para os valores máximos da absorção de água segundo o Anexo B da EN 1097-6

Absorção de água % em massa	Categoria WA _{cm}
≤ 0,5	WA _{cm} 0,5

Quando a avaliação efectiva da resistência ao gelo-degelo é requerida, o desempenho do agregado deve ser descrito adoptando uma das categorias de F - Resistência ao gelo-degelo ou de MS - Valor de sulfato de magnésio, consoante o método escolhido, nos termos apresentados nos Quadros 23 e 24.

Quadro 23 - Categorias para os valores máximos de resistência ao gelo-degelo

Resistência ao gelo-degelo Perda de massa em %	Categoria F
≤ 1	F ₁
≤ 2	F ₂
≤ 4	F ₄
> 4	F Declarado
Não requerido	F _{NR}

Quadro 24 - Categorias para os valores máximos de resistência ao sulfato de magnésio

Resistência ao gelo-degelo Perda de massa em %	Categoria MS
≤ 18	MS ₁₈
≤ 25	MS ₂₅
≤ 35	MS ₃₅
> 35	MS Declarado
Não requerido	MS _{NR}

Em função das categorias que caracterizam a resistência ao gelo-degelo do agregado, F ou MS, e tendo em conta as condições climatéricas e de aplicação, a norma EN 13043 considera as categorias de severidade da acção do gelo-degelo apresentadas no Quadro 25.

Quadro 25 - Classificação da severidade da acção do gelo-degelo em função do clima e da utilização

Condições de utilização	Clima		
	Mediterrânico	Atlântico	Continental
	Categoria		
Sem gelo ou estado seco	NR	NR	NR
Saturação parcial, sem sal	NR	F ₄ ou MS ₃₅	F ₂ ou MS ₂₅
Saturado, sem sal	NR	F ₂ ou MS ₂₅	F ₁ ou MS ₁₈
Sal (água do mar ou superfície de estrada)	F ₄ ou MS ₃₅	F ₂ ou MS ₂₅	F ₁ ou MS ₁₈
Acabamento superficiais nas pistas de aeroportos	F ₂ ou MS ₂₅	F ₁ ou MS ₁₈	F ₁ ou MS ₁₈

3.1.9.1 Especificação da resistência ao gelo-degelo para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste

No Quadro 26 apresentam-se as categorias a requerer para a resistência ao gelo-degelo pelo método do sulfato de magnésio dos agregados a utilizar no fabrico de misturas betuminosas.

Quadro 26 - Categorias de resistência ao gelo-degelo a requerer para os agregados destinados ao fabrico de misturas betuminosas

Aplicação		Categoria MS a requerer
Camada de base		MS ₃₅ *
Camada de ligação		
Camada de regularização		
Camada de desgaste	Betão betuminoso	Como o valor requerido para a absorção de água corresponde à categoria WA ₂₄₂ , não é necessária qualquer caracterização suplementar
	Betão betuminoso rugoso	
	Betão betuminoso drenante	
	Gravilhas de incrustação	
<p>Nota – No caso dos agregados que se enquadrem na categoria WA₂₄₂, não é requerida a avaliação da resistência ao gelo-degelo</p>		

3.1.10. Resistência ao choque térmico

A resistência ao choque térmico, determinada segundo o procedimento definido pela norma EN 1367-5, é uma propriedade que importa avaliar no caso dos agregados utilizados no fabrico de misturas betuminosas fabricadas a quente já que traduz a susceptibilidade do agregado à acção de temperaturas tão elevadas quanto aquelas a que está exposto durante o processo de fabrico das misturas. Esta susceptibilidade é avaliada sob dois pontos de vista, nomeadamente através da perda de massa “I” e da perda de resistência à fragmentação Los Angeles “V_{LA}”.

A descrição do desempenho do agregado relativamente a esta propriedade faz-se através da declaração dos valores de I e de V_{LA}, sem que estejam estabelecidos valores limite ou categorias.

3.1.10.1 Especificação da resistência ao choque térmico para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste

Dado não haver em Portugal experiência de utilização do parâmetro resistência o choque térmico na caracterização de agregados nem serem conhecidos padrões de comportamento consolidados relativamente a este parâmetro a nível internacional não se sugerem quaisquer recomendações relativamente à especificação de valores limite aceitação/rejeição ou categorias para este parâmetro.

Ainda assim, deve ser requerido que os agregados destinados ao fabrico de misturas betuminosas devam ser caracterizados quanto ao choque térmico e que o seu desempenho seja declarado.

3.1.11. Afinidade dos agregados aos ligantes betuminosos

A afinidade dos agregados grossos aos ligantes betuminosos, determinada segundo o procedimento definido pela norma EN 12697-11, é uma propriedade que importa avaliar no caso dos agregados utilizados no fabrico de misturas betuminosas já que permite dar uma ideia da potencial eficiência da ligação entre um determinado ligante e o agregado cujo desempenho se pretende avaliar.

Segundo a norma EN 12697-11, a afinidade agregado-betume pode ser avaliada por um de três métodos distintos, nomeadamente:

- **Método da garrafa giratória** - Neste método, a afinidade expressa-se através do grau de recobrimento com betume determinado visualmente num provete de agregado envolvido por betume, não compactado e depois de sujeito a uma agitação mecânica em presença de água. É um método simples mas subjectivo e é apropriado enquanto ensaio de rotina. Não é conveniente para agregados muito abrasivos.
- **Método estático** - Neste método, a afinidade expressa-se através do grau de recobrimento com betume determinado visualmente num provete de agregado envolvido por betume, não compactado e depois de sujeito a imersão em água. É um método simples mas subjectivo e é geralmente menos preciso mas apropriado para agregados abrasivos, com elevados coeficientes de polimento acelerado.
- **Método da água fervente** - Neste método, a afinidade expressa-se através do grau de recobrimento com betume determinado visualmente num provete de agregado envolvido por betume, não compactado e depois de sujeito a imersão em água fervente em condições especificadas. Este método é objectivo e preciso. Porém, é um método que requer pessoal especializado e a utilização de reagentes químicos, envolvendo condições

particulares de higiene e segurança. Este método pode ser utilizado para qualquer combinação agregado-ligante nas quais o agregado seja de natureza calcária ou siliciosa.

De acordo com a norma EN 13043, a afinidade do agregado aos ligantes betuminosos deve ser declarada pelo produtor, quando requerido.

A declaração desta propriedade levanta um problema já que o resultado da afinidade não está unicamente dependente das características do agregado mas também do ligante. Para que um produtor possa declarar esta propriedade pode ter duas opções: declarar a afinidade com um ligante à sua escolha, por ventura aquele que tiver uma utilização mais corrente no mercado a que se destina ou, então, declarar a afinidade com cada tipo de betume.

3.1.11.1 Especificação da afinidade agregado-betume para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste

Dado não haver em Portugal experiência de utilização do parâmetro afinidade agregado-betume na caracterização de agregados nem serem conhecidos padrões de comportamento consolidados relativamente a este parâmetro a nível internacional não se sugerem quaisquer recomendações relativamente à especificação de valores limite aceitação/rejeição ou categorias para este parâmetro.

Ainda assim, deve ser requerido que os agregados destinados ao fabrico de misturas betuminosas devam ser caracterizados quanto à afinidade agregado-betume e que o seu desempenho seja considerado nos estudos de formulação.

3.1.12. Sonennbrand dos basaltos

Sonnenbrand é um fenómeno de alteração que pode ocorrer nos basaltos e que deve ser identificado já que, quando ocorre, pode provocar quebras significativas no desempenho dos agregados. Este tipo de alteração ocorre quando o basalto é exposto à influência das condições atmosféricas e manifesta-se pelo aparecimento de manchas cinzentas/brancas. A partir destas manchas formam-se, normalmente, fissuras radiais que se interligam. Este fenómeno reduz a resistência da textura mineral e, como resultado, a rocha desagrega-se em pequenas partículas. Dependendo da origem, este processo pode manifestar-se num período de meses após a extracção ou desenvolver-se ao longo de várias décadas. Em casos excepcionais, uma alteração rápida resulta na formação de grandes fissuras e na fragmentação das partículas do agregado.

A avaliação deste fenómeno nos agregados basálticos faz-se em duas fases consecutivas, seguindo o procedimento definido na norma EN 1367-3, sendo

que a 2ª fase é desnecessária caso a 1ª não evidencie a existência de sinais do fenómeno.

Muito resumidamente as duas fases desta avaliação consistem em:

- 1ª fase - Talha-se um bloco do basalto, ficando cada pedaço com uma face com pelo menos 0,005 m²; e submete-se um dos pedaços a cozedura em água durante 36 horas, depois das quais se inspeciona visualmente o pedaço para detecção de manchas cinzentas/brancas, fissuras ou quebra do provete. Caso se observe qualquer um destes sinais considera-se que o basalto em análise pode manifestar o fenómeno *Sonnenbrand*;
- 2ª fase - Um provete do agregado é submetido a cozedura em água durante 36 horas, após a qual são avaliadas a perda de massa ocorrida, por peneiração do provete num peneiro cuja abertura é metade da abertura do peneiro de menor dimensão usado na preparação do provete, e a perda de resistência mecânica, por comparação de ensaios de resistência mecânica (LA ou impacto) executados sobre dois provetes da mesma amostra, sendo um deles sujeito a cozedura e o outro não. A perda de resistência é determinada em valor absoluto, calculando a diferença entre os resultados obtidos nos dois provetes.

De acordo com a norma EN 13043, a descrição do desempenho de um agregado basáltico relativamente à resistência ao *Sonnenbrand* faz-se declarando a correspondente categoria apresentada no Quadro 27.

Quadro 27 - Categorias para os valores máximos de resistência ao *Sonnenbrand*

Método de ensaio	Resultado	%	Categoria SB
Ensaio de ebulição e: a) Fragmentação por impacto ou b) Ensaio Los Angeles	Perda de massa após ebulição a) Aumento do valor de fragmentação por impacto após ebulição b) Aumento do coeficiente Los Angeles após ebulição	≤ 1 ≤ 5 ≤ 8	SB _{ZB} SB _{LA}
Ensaio de ebulição e: a) Fragmentação por impacto ou b) Ensaio Los Angeles	Perda de massa após ebulição a) Aumento do valor de fragmentação por impacto após ebulição b) Aumento do coeficiente Los Angeles após ebulição	> 1 > 5 > 8	SB _{ZB} Declarado SB _{LA} Declarado
Não requerido			SB _{NR}

3.1.12.1 Especificação da resistência ao *sonnenbrand* para os agregados das misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste

No Quadro 28 apresenta-se a categoria a requerer para a resistência ao *sonnenbrand* dos agregados a utilizar no fabrico de misturas betuminosas,

sendo este requisito unicamente aplicável aos agregados de natureza basáltica.

Quadro 28 - Categorias de resistência ao *Sonnenbrand* a requerer para os agregados destinados ao fabrico de misturas betuminosas

Aplicação		Categoria SB a requerer
Camada de base		SB _{LA}
Camada de ligação		
Camada de regularização		
Camada de desgaste	Betão betuminoso	
	Betão betuminoso rugoso	
	Betão betuminoso drenante	
	Gravilhas de incrustação	

3.1.13. Desintegração do silicato bicálcico das escórias de alto-forno arrefecidas ao ar

A desintegração do silicato bicálcico da escória de alto-forno arrefecida por ar deve ser avaliada pelo ensaio especificado pela secção 19.2 da EN 1744-1 e o resultado declarado pelo produtor.

3.1.13.1 Especificação da desintegração do silicato bicálcico das escórias de alto-forno arrefecidas ao ar a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste

A escória não deve apresentar desintegração de silicato bicálcico.

3.1.14. Desintegração do ferro das escórias de alto-forno arrefecidas ao ar

A desintegração do ferro da escória de alto-forno arrefecida ao ar deve ser avaliada pelo ensaio especificado pela secção 19.1 da EN 1744-1 e o resultado declarado pelo produtor.

3.1.14.1 Especificação da desintegração do ferro das escórias de alto-forno arrefecidas ao ar a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste

A escória não deve apresentar desintegração dos compostos ferrosos.

3.1.15. Estabilidade volumétrica dos agregados de escória de aciaria

A estabilidade volumétrica das escórias de aciaria deve ser determinada de acordo com a secção 19.3 da norma EN 1744-1 e declarada pelo produtor através de uma das categorias do Quadro 28.

Quadro 28 - Categorias para os valores máximos da expansão do agregado de escória de aciaria

Tipo de escória de aciaria	Expansão Porcentagem em volume	Categoria – V
Escória BOF ⁽¹⁾ /Escória EAF ⁽²⁾	≤ 3,5	V _{3,5}
	≤ 6,5	V _{6,5}
	≤ 10	V ₁₀
	> 10	V _{Declarada}
	Não requerido	V _{NR}

Nota 1 – Escória proveniente de processo básico com injeção de oxigénio.

Nota 2 – Escória proveniente de alto forno a arco voltaico.

Nota 3 – Quando o teor em MgO, determinado de acordo com a EN 196-2, for inferior ou igual a 5%, a duração do ensaio deve ser de 24 h. Quando o teor em MgO for superior a 5%, a duração do ensaio deve ser de 168 h.

Nota 4 – Actualmente, na ausência de um método fiável para a determinação do teor em MgO livre, o teor em MgO total é utilizado como medida do teor em MgO livre. Caso seja desenvolvido um método fiável, devem ser redefinidos os limites em termos de MgO livre. Os valores de MgO declarados pelos produtores de aço podem ser utilizados para determinar a duração dos ensaios.

3.1.15.1 Especificação da estabilidade volumétrica das escórias de aciaria a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste

Os agregados de escória de aciaria a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste devem enquadrar-se na categoria V_{3,5}.

3.2. REQUISITOS DOS FÍLERES PARA MISTURAS BETUMINOSAS E REVESTIMENTOS SUPERFICIAIS

3.2.1. Granulometria

A granulometria dos fíleres, é determinada pelo método de ensaio especificado pela norma NP EN 933-10 e deve satisfazer a distribuição apresentada no Quadro 29.

Quadro 29 - Requisitos da granulometria para o filer comercial

Dimensão do peneiro (mm)	% de passados, em massa	
	Limites inferiores e superiores para resultados individuais	Amplitude máx. da granulometria declarada pelo produtor ^(*)
2	100	-
0,125	85 a 100	10
0,063	70 a 100	10

Nota – A amplitude da granulometria é baseada nos últimos 20 valores observados no Controlo da Produção em Fábrica. 90% dos resultados declarados devem estar dentro deste limite, devendo todos os resultados devem estar dentro dos limites inferiores e superiores da granulometria definidos na coluna 2.

3.2.1.1 Especificação da granulometria dos fíleres a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste

Os fíleres destinados ao fabrico de misturas betuminosas a utilizar em camadas de base, regularização, ligação e desgaste devem satisfazer os limites e a amplitude estabelecidos no Quadro 29.

3.2.2. Massa volúmica e absorção de água

A massa volúmica das partículas dos fileres deve ser determinada de acordo com a norma EN 1097-7 e os resultados devem ser declarados.

3.2.2.1 Especificação da massa volúmica e absorção de água dos fileres a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste

A massa volúmica e a absorção de água dos fileres devem ser tidas em conta enquanto características de identificação, não sendo necessário estabelecer quaisquer valores limite para estas propriedades.

3.2.3. Azul de metileno

Quando requerido e à semelhança dos restantes agregados finos utilizados no fabrico de misturas betuminosas, também a argilosidade dos fileres é avaliada através do ensaio de azul de metileno, MB_F , seguindo o procedimento definido na norma EN 933-9, devendo os resultados ser declarados pela correspondente categoria do Quadro 30.

Quadro 30 - Categorias para os valores máximos de azul de metileno MB_F

Valor de azul de metileno da fracção 0/0,125 mm (MB_F) g/kg	Categoria MB_F
----	$MB_{FNT}^{(*)}$
≤ 10	MB_{F10}
≤ 25	MB_{F25}
> 25	MB_F Declarado
Não requerido	MB_{FNR}

Nota – A categoria MB_{FNT} significa que não são necessários ensaios porque $f < 3\%$

3.2.3.1 Especificação do valor de azul de metileno dos fileres a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste

Os fileres a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste devem enquadrar-se na categoria MB_{F10} .

3.2.4. Teor de água

O teor de água do fíler comercial, determinado de acordo com a norma EN 1097-5 não deve ser superior a 1% em massa.

3.2.5. Vazios do fíler seco compactado (Rigden)

Os vazios do fíler seco compactado (Rigden), quando requerido, são determinados de acordo com a norma EN 1097-4, devendo os resultados ser declarados através de uma das categorias do Quadro 31, aquela que melhor se lhes ajustar.

Quadro 31 - Categorias para os valores de vazios do fíler seco compactado (Rigden)

Percentagem em volume		Categoria V
Limites inferiores e superiores para resultados individuais	Amplitude máxima dos valores declarados pelo produtor (*)	
28 a 38	4	V _{28/38}
38 a 45	4	V _{38/45}
28 a 45	4	V _{28/45}
44 a 55	4	V _{44/55}
Não requerido	Não requerido	V _{NR}

Nota – A amplitude dos vazios do fíler seco é baseada nos últimos 20 valores, devendo 90% dos resultados declarados estar dentro deste limite e 100% dos resultados estar dentro dos limites inferiores e superiores da granulometria, de acordo com a coluna 1

3.2.5.1 Especificação dos valores de vazios dos fíleres secos compactados (Rigden) a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste

Os fíleres a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste devem enquadrar-se na categoria V_{28/45}.

3.2.6. Variação da temperatura anel e bola

A variação da temperatura anel e bola do fíler, quando requerido, é determinada de acordo com a norma EN 13179-1, devendo os resultados ser declarados através de uma das categorias do Quadro 32, aquela que melhor se lhes ajustar.

Quadro 32 - Categorias para a variação da temperatura anel e bola

Variação da temperatura anel e bola °C	Categoria $\Delta_{R\&B}$
8 a 16	$\Delta_{R\&B}8/16$
17 a 25	$\Delta_{R\&B}17/25$
8 a 25	$\Delta_{R\&B}8/25$
>25	$\Delta_{R\&B}25$
Não requerido	$\Delta_{R\&B}NR$

3.2.6.1 Especificação dos valores de variação da temperatura anel e bola dos fíleres a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste

Os fíleres a utilizar no fabrico de misturas betuminosas destinadas a camadas de base, regularização, ligação e desgaste devem enquadrar-se na categoria

$\Delta_{R\&B}8/16$.

3.2.7. Regularidade da produção

A regularidade da produção de fíler deve ser medida, pelo menos, por uma das seguintes características:

- “número do betume” do fíler adicionado, propriedade relacionada com as características rigidificantes, determinada de acordo com a norma EN 13179-2 e declarada através de uma das categorias do Quadro 33;

Quadro 33 - Categorias para o número de betume do fíler adicionado

Percentagem em volume		Categoria BN
Limites inferiores e superiores para resultados individuais	Amplitude máxima do número de betume declarado pelo produtor (*)	
28 a 39	6	BN _{28/39}
40 a 52	6	BN _{40/52}
53 a 62	6	BN _{53/62}
Declarado	Declarado	BN _{Declarado}
Não requerido	Não requerido	BN _{NR}

Nota – A amplitude do número de betume é baseada nos últimos 20 valores, devendo 90% dos resultados declarados estar dentro deste limite e 100% dos resultados estar dentro dos limites inferiores e superiores da granulometria, de acordo com a coluna 1

- perda ao fogo das cinzas volantes de carvão pulverizado utilizadas como fíler, que deve ser determinada de acordo com a secção 17 da norma EN 1744-1 e declarada pelo produtor com uma amplitude que não deve ser superior a 6%, em massa;
- massa volúmica das partículas do fíler comercial, que deve ser determinada de acordo com a norma EN 1097-7 e declarada pelo produtor com uma amplitude que não deve ser superior a 0,2 Mg/m³;
- massa volúmica aparente em querosene, que deve ser determinada de acordo com o Anexo B da norma EN 1097-3 e declarada pelo produtor com uma amplitude que deve situar-se entre 0,5 Mg/m³ e 0,9 Mg/m³;
- superfície específica determinada pelo ensaio Blaine, que deve ser determinada de acordo com a norma EN 196-6 e declarada pelo produtor com uma amplitude que não deve ser superior a 140 m²/kg.

4. AGREGADOS PARA MISTURAS NÃO LIGADAS OU TRATADAS COM LIGANTES HIDRÁULICOS

Os agregados para misturas não ligadas ou tratadas com ligantes hidráulicos devem cumprir os requisitos da Norma Europeia EN 13242 - *Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction*. Esta norma especifica as propriedades e os respectivos métodos de ensaio adequados para a caracterização dos agregados a utilizar

no fabrico de misturas não ligadas ou tratadas com ligantes hidráulicos para camadas de sub-base e base de pavimentos de estradas, aeroportos, ou outras áreas traficáveis, incluindo sub-balastro de vias férreas.

Os agregados a utilizar no fabrico das misturas não ligadas ou tratadas com ligantes hidráulicos a utilizar em camadas de sub-base e base devem apresentar-se homogêneos e não devem conter matéria orgânica ou quaisquer substâncias estranhas, tais como madeira, vidro e plástico em quantidades que afectem de forma relevante o comportamento das misturas. Devem ser pouco susceptíveis à meteorização e apresentarem-se são ou pouco alterados (de acordo com os critérios propostos pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas - ISRM).

Entre as características dos agregados especificadas na norma EN 13242 consideram-se relevantes no âmbito das misturas não ligadas ou tratadas com ligantes hidráulicos para camadas de sub-base e base as seguintes:

- Granulometria;
- Qualidade dos finos;
- Forma dos agregados grossos e das fracções grossas (≥ 4 mm) dos agregados de granulometria extensa;
- Percentagem de partículas esmagadas e partidas dos agregados grossos e das fracções grossas (≥ 4 mm) dos agregados de granulometria extensa;
- Resistência à fragmentação, através do coeficiente Los Angeles;
- Resistência ao desgaste por atrito, através do coeficiente micro-Deval;
- Massa volúmica das partículas e absorção de água;
- *Sonnenbrand* dos basaltos;
- Desintegração do silicato bicálcico das escórias de alto-forno arrefecidas ao ar;
- Desintegração do ferro das escórias de alto-forno arrefecidas ao ar; e
- Estabilidade volumétrica dos agregados de escória de aciaria.

5. BIBLIOGRAFIA

Castelo Branco, F., Quinta Ferreira, M. (2009) Levantamento das características dos agregados produzidos em Portugal. Estudo elaborado pelo Departamento de Ciência da Terra da Universidade de Coimbra para o InIR - Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias, IP.

ONS-InIR/CT 154 - Agregados (2009) Parecer relativo ao Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal SA.

ONS-EP/CT 154 - Agregados (2005) Propriedades a requerer para efeitos de marcação CE de agregados. Parecer elaborado pela CT 154 para o ONN/IPQ.

Norma francesa XP P 18-545: 2004 - Granulats. Éléments de définition, conformité et codification.

DOCUMENTO BASE



Instituto de Infra-Estruturas
Rodoviárias IP