



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE MATERIAIS
Núcleo de Materiais Orgânicos

Proc. 0203/1/16438

**CARACTERIZAÇÃO DE BETUMES MODIFICADOS
COM POLÍMEROS ENQUADRADA NA NORMA EUROPEIA
EN 14023 – BITUMEN AND BITUMINOUS
BINDERS – FRAMEWORK SPECIFICATION FOR POLYMER
BITUMENS**

Trabalho realizado no âmbito do Protocolo
LNEC, I.P. – EP – Estradas de Portugal, S.A.

Lisboa • Abril de 2008

I&D MATERIAIS

RELATÓRIO 143/2008 – DM/NMO

**CARACTERIZAÇÃO DE BETUMES MODIFICADOS COM POLÍMEROS
ENQUADRADA NA NORMA EUROPEIA EN 14023 – BITUMEN AND BITUMINOUS
BINDERS – FRAMEWORK SPECIFICATION FOR POLYMER BITUMENS**

**CHARACTERIZATION OF POLYMER MODIFIED BITUMENS WITHIN THE FRAME
OF THE EUROPEAN STANDARD EN 14023 – BITUMEN AND BITUMINOUS BINDERS
– FRAMEWORK SPECIFICATION FOR POLYMER BITUMENS**

**CARACTERISATION DE BITUMES MODIFIÉS PAR DES POLYMÉRES DANS LE
CADRE DE LA EUROPÉENNE STANDARD EN 14023 – BITUMES ET LIANTS
BITUMINEUX - CADRE DE SPÉCIFICATIONS DES BITUMES MODIFIÉS PAR DES
POLYMERES**

**CARACTERIZAÇÃO DE BETUMES MODIFICADOS COM POLÍMEROS
ENQUADRADA NA NORMA EUROPEIA EN 14023 – BITUMEN AND BITUMINOUS
BINDERS – FRAMEWORK SPECIFICATION FOR POLYMER BITUMENS**

RESUMO

O presente relatório apresenta os resultados e as conclusões mais relevantes do estudo experimental que foi realizado com o objectivo da caracterização de betumes modificados com polímero com vista ao seu enquadramento na Norma Europeia EN 14023 – Bitumen and bituminous binder – Framework specification for polymer bitumens

ABSTRACT

This report presents includes the results and the conclusions of the experimental study developed for the characterization of polymer modified bitumens within the frame of the European Standard EN 14023 - Bitumen and bituminous binder – Framework specification for polymer bitumens

ÍNDICE

	Pág.
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	4
3 - A NORMA EUROPEIA EN 14023	5
3.1 - Apresentação da EN 14023	5
3.2 - Propriedades seleccionadas.....	9
4 - TRABALHO EXPERIMENTAL NO LNEC	12
4.1 - Plano de trabalho.....	12
4.2 - Amostras para ensaio	12
4.3 - Preparação de amostra de ensaio	15
4.4 - Condições de ensaio	17
4.5 - Resultados da caracterização laboratorial no LNEC por produtor	20
5 - AVALIAÇÃO DE RESULTADOS	24
5.1 - Análise dos resultados obtidos pelo LNEC	24
5.2 - Análise dos resultados fornecidos pelo produtor	25
5.2.1 - CEPSA	26
5.2.2 - GALP.....	32
5.2.3 - REPSOL.....	41
5.3 - Análise comparativa entre resultados obtidos pelo LNEC e pelo produtor	47
6 - ENQUADRAMENTO NA NORMA EN 14023	48
6.1 - Por propriedade.....	48
6.1.1 - Penetração com agulha.....	48
6.1.2 - Temperatura de amolecimento (método de anel e bola)	50
6.1.3 - Coesão.....	51
6.1.4 - Envelhecimento RTFOT	52
6.1.5 - Temperatura de fragilidade Fraass	56
6.1.6 - Recuperação elástica a 25 °C	57
6.1.7 - Intervalo de plasticidade	58
6.1.8 - Estabilidade ao armazenamento	59
6.2 - Enquadramento na norma EN 14023 por classe de penetração	61
6.2.1 - BMP 10/40 (Classe 2).....	62
6.2.2 - BMP 25/55 (Classe 3).....	63
6.2.3 - BMP 45/80 (Classe 4).....	64
6.2.4 - BMP 40/100 (Classe 5).....	65
6.2.5 - BMP 65/105 (Classe 6).....	66
6.3 - Quadro de especificações.....	67
7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
BIBLIOGRAFIA	71

ÍNDICE DE QUADROS

	Pág.
Quadro 1 - Quadro de especificação dos requisitos essenciais e classes de BMP	7
Quadro 2 - Quadro de especificação para os requisitos adicionais e classes de betumes modificados com polímero	8
Quadro 3 - Propriedades essenciais e adicionais seleccionadas	11
Quadro 4 - Identificação das amostras da CEPESA	13
Quadro 5 - Identificação das amostras da REPSOL.....	13
Quadro 6 - Identificação das amostras da GALP	14
Quadro 7- Condições de preparação de amostras para ensaio	17
Quadro 8 - Resultados da caracterização laboratorial dos BMP fornecidos pela CEPESA	21
Quadro 9 - Resultados da caracterização laboratorial dos BMP fornecidos pela GALP	22
Quadro 10 - Resultados da caracterização laboratorial dos BMP fabricados pela REPSOL.....	23
Quadro 11 - BMP: Sty 13/60. Resultados CEPESA e LNEC.....	27
Quadro 12 - BMP: RAF 2. Resultados CEPESA e LNEC	28
Quadro 13 - Análise comparativa de resultados do BMP, Sty Newplast – CEPESA	29
Quadro 14 - BMP: Sty 15/60. Resultados CEPESA e LNEC.....	30
Quadro 15 - BMP: Sty 13/40. Resultados CEPESA e LNEC.....	31
Quadro 16 - BMP: Kerovia A6. Resultados GALP e LNEC	33
Quadro 17 - BMP. Kerovia A8. Resultados GALP e LNEC	34
Quadro 18 - BMP: Elastoplas. Resultados GALP e LNEC.....	35
Quadro 19 - BMP: Alto IP. Resultados GALP e LNEC	36
Quadro 20 - BMP: PB1,5 (35/50) A6. Resultados GALP e LNEC	37
Quadro 21 - BMP: PB 1,5 (35/50) A8. Resultados GALP e LNEC	38
Quadro 22 - BMP: PB1,5 (50/70) A6. Resultados GALP e LNEC	39
Quadro 23 - BMP: PB1,5 (50/70) A8. Resultados GALP e LNEC	40
Quadro 24 - BMP: BM-3c. Resultados REPSOL e LNEC	42
Quadro 25 - BMP: BM-3a. Resultados REPSOL e LNEC	43
Quadro 26 - BMP: BM-3f. Resultados REPSOL e LNEC.....	44
Quadro 27 - BMP: BM-2. Resultados REPSOL e LNEC.....	45
Quadro 28 - BMP, BM-1. Resultados REPSOL e LNEC	46
Quadro 29 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Penetração com agulha.....	49
Quadro 30 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Temperatura de amolecimento	50
Quadro 31 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Coesão (Método da ductilidade)	51
Quadro 32 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Envelhecimento RTFOT - Variação de massa	52
Quadro 33 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Envelhecimento RTFOT - Aumento ou diminuição da temperatura de amolecimento.....	53
Quadro 34 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Envelhecimento RTFOT – recuperação elástica a 25 °C	54
Quadro 35 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Envelhecimento RTFOT – Penetração retida	55
Quadro 36 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Temperatura de fragilidade Fraass).....	56
Quadro 37 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Recuperação elástica a 25 °C	57
Quadro 38 - Enquadramento nas classes da EN 14023:Intervalo de plasticidade	58

Quadro 39 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Estabilidade ao armazenamento, Diferença na penetração	59
Quadro 40 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Estabilidade ao armazenamento Diferença na temperatura de amolecimento	60
Quadro 41 - Quadro de especificações para o BMP 10/40 (classe2)	62
Quadro 42 - Exemplo de um quadro de especificação para um BMP 10-40	62
Quadro 43 - Quadro de especificações para o BMP 25/55 (Classe 3)	63
Quadro 44 - Exemplo de um BMP 25-55.....	63
Quadro 45 - Quadro de especificações para BMP 45/80 (Classe 4)	64
Quadro 46 - Exemplo de um BMP 45-80.....	64
Quadro 47 - Quadro de especificações para o BMP 40/100 (Classe 5)	65
Quadro 48 - Exemplo de um BMP 40-100.....	65
Quadro 49 - Quadro 48 - BMP 65-105 (classe6)	66
Quadro 50 - Exemplo de um betume 65-105	66
Quadro 51 - Quadro de especificações para BMP.....	67
Quadro 52 - Especificação para um BMP 25/55	69

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig.1 - Observação da estrutura de BMP, BM- 3f a diferentes temperaturas de fluidificação.....	16

CARACTERIZAÇÃO DE BETUMES MODIFICADOS COM POLÍMEROS ENQUADRADA NA NORMA EUROPEIA EN 14023 – BITUMEN AND BITUMINOUS BINDERS – FRAMEWORK SPECIFICATION FOR POLYMER BITUMENS

1 - INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de betumes modificados com polímeros, BMP, nas últimas décadas, e o aumento da sua utilização nos pavimentos rodoviários em camadas de desgaste, camadas de ligação ou de regularização e em camadas de base, exigem que hajam métodos de selecção cada vez mais criteriosos.

No âmbito do acervo normativo europeu foi recentemente publicada a norma EN 14023 - *Bitumen and bituminous binders – Framework Specification for polymer modified bitumens*, que estabelece um quadro de especificações para betumes modificados com polímeros. Neste documento é definido um conjunto de propriedades e os requisitos respectivos que os betumes modificados com polímeros devem satisfazer. Para algumas das novas propriedades introduzidas, diferentes das propriedades que têm sido contempladas no contexto nacional para betumes, desconhece-se o comportamento dos betumes modificados comercializados no mercado nacional.

Assim, dada a falta de conhecimento dessas novas propriedades nos betumes modificados com polímero comercializados em Portugal e face à necessidade de se seleccionar classes de requisitos para essas propriedades, tornou-se fundamental a realização de um estudo experimental.

Neste contexto a EP, Estradas de Portugal, S. A. enquanto Organismo de Normalização Sectorial, ONS, e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. (LNEC) celebraram um protocolo que tem como objectivo a realização de um estudo experimental, visando a caracterização de betumes modificados, no âmbito da actividade normativa da Comissão Técnica Portuguesa de Normalização em Ligantes Betuminosos (CT - 153 Ligantes Betuminosos), coordenada pelo ONS-EP. Para este estudo o ONS-EP submeteu uma candidatura ao programa de investimentos PRIME (Programa de Incentivos à Modernização da Economia) para os anos 2006-2007, que foi aprovada.

Com este estudo pretende-se:

- caracterizar vários tipos de betumes modificados com polímero, tendo alguns expressão comercial a nível nacional, produzidos pela CEPSA, GALP e REPSOL, face aos novos métodos de ensaio definidos na Norma Europeia EN 14023 Bitumen and bituminous binder – Framework Specification for Polymer Modifier Bitumens;
- comparar esses resultados com os obtidos nos laboratórios dos produtores, sempre que possível;
- proceder ao enquadramento dos resultados obtidos nas classes de exigências especificadas naquela Norma Europeia.

Para a satisfação dos objectivos foi acordado inicialmente caracterizar 12 propriedades, de acordo com os métodos de ensaio especificados na Norma Europeia EN 14023, envolvendo 15 betumes modificados com polímeros (BMP), provenientes dos três produtores, CEPSA, GALP e REPSOL, num total de 180 ensaios.

Durante o trabalho experimental verificou-se que um dos ensaios seleccionados (coesão por tracção) não era exequível neste tipo de betume, BMP, de acordo com a metodologia estabelecida na EN 13587 com o actual equipamento existente no LNEC.

Pelo motivo acima referido, não foi possível realizar aquele ensaio, como estava previsto inicialmente e, em reunião com os vários intervenientes neste projecto, foi acordado estudar mais um betume por produtor em substituição daquele ensaio. Assim, o estudo passou a englobar 18 amostras de betumes em vez das 15 amostras inicialmente previstas, num total de 198 ensaios.

A GALP manifestou interesse em ensaiar mais amostras, devido a alterações nas instalações de fabrico. Por este motivo e dado que, entretanto, os outros dois produtores (CEPSA e REPSOL) decidiram enviar apenas as cinco amostras inicialmente previstas, foi acordado que a GALP forneceria oito amostras para ensaio, mantendo o estudo o número total de amostras de betumes (18) e de ensaios (198).

Durante o estudo verificou-se ainda a necessidade de se efectuar mais alguns ensaios, nomeadamente observação por microscopia de epifluorescência para observação da homogeneidade da dispersão do polímero no betume e a determinação da massa volúmica.

O presente relatório apresenta os resultados e as conclusões mais relevantes do estudo experimental que foi realizado no âmbito do referido protocolo e encontra-se estruturado do seguinte modo:

Capítulo 1 – Introdução

Capítulo 2 – Tecem-se algumas considerações sobre a composição dos betumes modificados com polímeros

Capítulo 3 – Apresentam-se os aspectos mais relevantes da Norma Europeia EN 14023.

Capítulo 4 – Descreve-se o estudo experimental realizado pelo LNEC focando os aspectos relacionados com as amostras dos betumes modificados com polímeros, a preparação das amostras e as condições de ensaio. Apresentam-se os resultados obtidos na caracterização dos betumes modificados com polímero por produtor e por produto.

Capítulo 5 – Apresenta-se os resultados da análise comparativa entre os resultados obtidos pelo LNEC na caracterização dos betumes modificados com polímero e os obtidos pelos produtores na caracterização dos betumes modificados com polímero, tendo em consideração, quando existem, os critérios de fidelidade estabelecidos nos métodos de ensaio e o enquadramento destes resultados na Norma Europeia EN 14023.

Capítulo 6 – Apresenta-se o enquadramento dos BMP em estudo na Norma Europeia EN14023 por propriedade caracterizada e em quadros de especificações por classe de penetração.

Capítulo 7 – Apresentam-se as conclusões possíveis de tirar do estudo experimental efectuado.

2 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

De acordo com a norma de terminologia, EN 12597:2000, entende-se como betumes modificados “betumes cujas propriedades reológicas foram alteradas, durante o processo de fabrico, pela incorporação de um ou mais agentes químicos”. No contexto desta norma os betumes modificados com polímeros são “betumes modificados em que os agentes químicos podem ser um ou mais polímeros orgânicos”.

A incorporação de polímeros nos betumes tem como objectivo melhorar o comportamento em serviço e o desempenho da camada betuminosa do pavimento.

As ligações desenvolvidas entre o betume e os polímeros podem ser fundamentalmente de natureza química (reticulação química entre o betume e o polímero) ou de natureza física.

Da grande variedade de polímeros actualmente existentes, (polímeros termoplásticos, termoendurecíveis e elastómeros), apenas alguns polímeros são adequados à modificação de betumes. Esses devem ser compatíveis com o betume, resistir à degradação durante o processo de modificação e de fabrico das misturas betuminosas, melhorar o comportamento do betume em serviço, manter as propriedades durante o armazenamento e ter uma relação custo/eficácia aceitável (Guimarães 2002).

Os polímeros termoplásticos mais usados na modificação de betumes para pavimentação são os copolímeros de etileno com monómeros polares de ésteres, entre outros, nomeadamente com acrilato de metilo (EMA), com acrilato de butilo (EBA) e acetato de vinilo (EVA) em que a sua incorporação tem como finalidade melhorar as propriedades dos betumes na Intervalo das temperaturas elevadas. As poliolefinas (propilenos atáticos) são também usadas, mais em betumes para impermeabilização.

Dos elastómeros mais comuns salientam-se os copolímeros de estireno com butadieno (SB), nomeadamente, copolímeros aleatórios (SBR), em dibloco ou bloco (SB) e em tribloco, copolímero

estireno-butadieno-estireno (SBS) e ainda os polímeros da família dos poliisobutileno (PIB), que possibilitam uma melhoria das propriedades a baixas temperaturas. Também são usados os elastómeros termoplásticos estirénicos com bloco central de isopreno (SIS) e de etileno-butileno (SEBS) e ainda os olefinicos de etileno-propileno-monómero de dieno (EPDM).

Os polímeros termoendurecíveis são pouco usados em betumes de pavimentação, contudo, a incorporação de resinas epoxídicas e de poliuretanos permitem obter betumes com propriedades especiais para situações particulares em que se requer, por exemplo, elevada resistência química.

Como se pode ver existe uma grande variedade de possibilidades de escolha de polímeros que podem ser incorporados em betumes para obtenção de betumes modificados com polímeros. A selecção do tipo de polímero deverá ter em conta as propriedades desejadas para o produto final.

3 - A NORMA EUROPEIA EN 14023

3.1 - Apresentação da EN 14023

A Norma EN 14023 apresenta um quadro de especificações possíveis para BMP em função das propriedades que estes devem satisfazer independentemente da natureza da modificação sofrida do betume base durante a incorporação do polímero ou do tipo de polímero.

A EN 14023 preconiza um conjunto de propriedades para a caracterização dos betumes modificados com polímero, diferentes das que têm sido contempladas para ligantes betuminosos.

Assim, tem-se as propriedades agrupadas em dois grandes grupos:

- Requisitos essenciais (preconizados no Quadro 1 da EN 14023) e apresentados no Quadro 1. Estes cobrem as propriedades relacionadas com a consistência a uma temperatura de serviço intermédia, consistência a uma temperatura de serviço elevada, a coesão e a durabilidade
- Requisitos adicionais (preconizados no Quadro 2 da EN 14023) e apresentados no Quadro 2.

Da análise dos requisitos, ressalta que, quando a durabilidade é avaliada pela variação da temperatura de amolecimento antes e após envelhecimento, RTFOT, realizado segundo a norma

EN 12607-1, se houver aumento da temperatura de amolecimento, esta propriedade é considerada no grupo dos requisitos essenciais, para avaliação da durabilidade como “aumento da temperatura de amolecimento”. No caso de se verificar queda da temperatura de amolecimento após envelhecimento, esta propriedade é considerada no grupo dos requisitos adicionais como “diminuição da temperatura de amolecimento após envelhecimento EN 12607-1”.

De acordo com esta norma cada propriedade é classificada em classes de 0 até 10, devendo cada país, seleccionar para cada propriedade a classe adequada para a utilização pretendida. A classe 0 indica “No Performance Determined”, NPD, (*Desempenho Não Determinado*, DND), significando que a propriedade para determinado fim não está sujeita a requisitos regulamentares, a classe 1 “To Be Reported”, TBR (*A Reportar*, AR), significa que o produtor deverá fornecer informação sobre esta propriedade. As classes de 2 até 10, dependendo da propriedade, possuem requisitos definidos em valores ou intervalos de valores.

Na norma EN 14023, cada classe de uma dada propriedade está definida por um intervalo de valores, ou por um valor máximo ou mínimo e, verifica-se também, a sobreposição entre os limites de várias classes. Assim, existe a possibilidade de um betume pertencer a várias classes, para a mesma propriedade.

De acordo com a norma EN 14023, cada propriedade, em função do seu valor, pode enquadrar-se simultaneamente em mais do que uma classe. Assim, por exemplo um betume que apresente como resultado de penetração o valor de 58, está incluído nas classes de 3, 4 e 5, significando que o produtor deverá indicar para cada propriedade a classe a que pertence o seu produto, por exemplo, penetração classe 4 ou penetração classes 4 e 5.

Esta norma identifica cada betume modificado com polímeros por uma referência alfanumérica em função das propriedades, penetração e temperatura de amolecimento, em que a

1ª posição: BMP Betume Modificado com Polímero (PMB-Polymer Modified Bitumen)

2ª posição: intervalo de penetração a 25 °C, por ex. 45/80

3ª posição: Temperatura de amolecimento mínima, por ex. 60

Assim, neste caso o betume modificado com polímero é identificado por BMP 45/80 – 60.

Quadro 1 - Quadro de especificação dos requisitos essenciais e classes de BMP

Requisitos essenciais	Propriedades	Classes para os requisitos essenciais de betumes modificados com polímero										
		0 ^a	1 ^b	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consistência a uma temperatura de serviço intermédia	Penetração a 25 °C, 0,1 mm		TBR	10-40	25 -55	45-80	40-100	65-105	75-130	90 - 150	120-200	200-300
Consistência a uma temperatura de serviço elevada	Temperatura de amolecimento, °C		TBR	≥ 80	≥ 75	≥ 70	≥ 65	≥ 60	≥ 55	≥ 50	≥ 45	≥ 40
Coesão ^c	Força de ductilidade, J/cm ² (tracção a baixa velocidade) ou	NPD	TBR	≥ 3 5 °C	≥ 2 5 °C	≥ 1 5 °C	≥ 2 0 °C	≥ 2 10 °C	-	-	-	-
	Tracção a 5 °C, J/cm ² (tracção a alta velocidade) ou	NPD	TBR	≥ 3	≥ 2	≥ 1	-	-	-	-	-	-
	Pêndulo Vialit, J/cm ² (Ensaio de impacto)	NPD	TBR	≥ 0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Durabilidade (resistência ao envelhecimento EN12607-1)	Variação de massa, %	NPD	TBR	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 1,0	-	-	-	-	-
	Penetração retida, %	NPD	TBR	≥ 35	≥ 40	≥ 45	≥ 50	≥ 55	≥ 60	-	-	-
	Aumento da temperatura de amolecimento, °C	NPD	TBR	≤ 8	≤ 10	≤ 12	-	-	-	-	-	-
Outras características	Temperatura de inflamação, °C ^d			≥ 250	≥ 235	≥ 220	-	-	-	-	-	-

NPD - No Performance Determined, (*Desempenho Não Determinado, DND*)

TBR - To Be Reported, (*A Reportar, AR*)

^a - Quando a atribuição de classes é baseada na consistência a temperaturas de serviço, intermédia ou elevada, estes valores devem ser dados para estas características

^b - A Classe 1, valor a reportar (AR), não deve ser usada para declaração regulamentar ou marcação

^c - Deve ser escolhido um método de coesão de acordo com a aplicação final

^d - As Classes 0 e 1 não devem ser usadas por razões de segurança.

Quadro 2 - Quadro de especificação para os requisitos adicionais e classes de betumes modificados com polímero

Propriedades técnicas, Unidades	Método de Ensaio	Classes para os requisitos adicionais para betume modificado com polímero										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura de fragilidade Fraass, °C	EN 12593	NPD	TBR	≤ 0	≤ -5	≤ -7	≤ -10	≤ -12	≤ -15	≤ -18	≤ -20	≤ -22
Recuperação elástica 25 °C, %	EN 13398	NPD	TBR	≥ 80	≥ 70	≥ 60	≥ 50	-	-	-	-	-
Recuperação elástica 10 °C, %	EN 13398	NPD	TBR	≥ 75	≥ 50	-	-	-	-	-	-	-
Intervalo de plasticidade, °C	EN 14023 5.1.9	NPD	TBR	≥ 85	≥ 80	≥ 75	≥ 70	≥ 65	≥ 60	-	-	-
Estabilidade ao armazenamento Diferença na temperatura de amolecimento,	EN 13399 EN 1427	NPD	TBR	≤ 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Estabilidade ao armazenamento Diferença na penetração, 0,1 mm	EN 13399 EN 1426	NPD	TBR	≤ 9	≤ 13	≤ 19	≤ 26	-	-	-	-	-
Diminuição da temperatura amolecimento após EN 12607-1, °C	EN 1427	NPD	TBR	≤ 2	≤ 5	-	-	-	-	-	-	-
Recuperação elástica a 25 °C após EN 12607-1, %	EN 13398	NPD	TBR	≥ 70	≥ 60	≥ 50	-	-	-	-	-	-
Recuperação elástica a 10 °C após EN 12607-1, %	EN 13398	NPD	TBR	≥ 50	-	-	-	-	-	-	-	-

NPD - No Performance Determined, (*Desempenho Não Determinado, DND*)

TBR - To Be Reported, (*A Reportar, AR*)

3.2 - Propriedades seleccionadas

Para a caracterização dos BMP de acordo com a norma EN 14023 foram seleccionadas inicialmente 12 propriedades de 15 betumes, num total de 180 ensaios:

Propriedades Essenciais

Consistência a uma temperatura de serviço intermédia

- penetração com agulha 25 °C;

Consistência a uma temperatura de serviço elevada

- temperatura de amolecimento (método de anel e bola);

Coesão

- coesão (método da ductilidade);
- coesão por tracção a 5 °C;

Durabilidade

- resistência ao envelhecimento (RTFOT) avaliada:
 - o pela variação da massa;
 - o pela penetração retida;
 - o aumento da temperatura de amolecimento (método de anel e bola);
 - o recuperação elástica a 25 °C.

Propriedades Adicionais

- temperatura de fragilidade Fraass;
- recuperação elástica a 25 °C;
- estabilidade ao armazenamento avaliada.
 - o diferença de penetração com agulha;
 - o diferença de temperatura de amolecimento (método de anel e bola).

Durante a execução do estudo, verificou-se que a câmara de arrefecimento não tinha as dimensões necessárias para a execução do ensaio de coesão pelo método de tracção a 5 °C, estabelecidas na norma EN 13587, para este tipo de betume, BMP. Por este motivo, não foi possível realizar o ensaio.

Em reunião efectuada para análise daquela situação foi acordado, entre os intervenientes do estudo, substituir este ensaio pela caracterização de mais amostras de BMP, num total de 198 ensaios em vez dos 180 inicialmente previstos.

Assim, este estudo engloba a caracterização de 11 propriedades por amostra de BMP, num total de 18 amostras de BMP.

O Quadro 3 apresenta a compilação realizada da informação necessária ao estudo experimental, indicando-se as propriedades essenciais e adicionais a estudar, a Norma Europeia que estabelece o método de ensaio respectivo, as unidades em que são expressos os resultados e a título indicativo, os critérios de fidelidade (repetibilidade e de reprodutibilidade) para BMP ou para betumes convencionais quando não existirem para BMP.

A análise dos dados de fidelidade revela que apenas os ensaios da determinação da temperatura de amolecimento (método de anel e bola) e de recuperação elástica tem estabelecidos valores de fidelidade para BMP, embora também outros ensaios apresentem valores indicativos para a fidelidade baseados em ensaios circulares.

Quadro 3 - Propriedades essenciais e adicionais seleccionadas

Propriedades essenciais* e adicionais**		Norma	Unidade	Fidelidade para betumes (B) e betumes modificados com polímeros (BMP)		
				Repetibilidade	Reproductibilidade	
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s, (P1)		EN 1426: 1999	1/10 mm	B: < 50: 2 ^a unidades B: ≥ 50 – 4 % do valor médio	B: < 50: 3 ^a unidades B ≥ 50: 6 % do valor médio	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), (T1)		EN 1427	°C	BMP, H ₂ O: 1,5 ^a BMP ^c , glicerina: 2,2 ^a	BMP, H ₂ O : 3,5 ^a BMP ^c , glicerina: 6,3 ^a	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade)		EN 13589/13703	J/cm ²	BMP: E' < 1: 0,11 E' > 1: 8 %	BMP: E' < 1: 0,39 E' > 1: 33 %	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	Variação de massa	EN 12607-1	%	B: 0,3 % a 0,8 %: 0,15 ^a	B: 0,3 % a 0,8 %: 0,2 ^a	
	Penetração, 25 °C (P2)	EN 1426	1/10 mm	-	-	
	Penetração retida (P2/P1) x100	EN 12607-1	%	B: 7	B: 10	
	Temp. de amolecimento, T2	EN 1427	°C	-	-	
	Aumento da T. de amolecimento (T2 – T1)	EN 12607-1	°C	B: < 6,5: 1,5 ^{ad} > 6,5: 3,0 ^{ad}	B: < 6,5: 2,0 ^{ad} ≥ 6,5: 4,0 ^{ad}	
**Temperatura de fragilidade Fraass		EN 12593	°C	3 ^a	6 ^a	
**Recuperação elástica, 25 °C		EN 13398	%	BMP: Diferença de 4 % ^a	BMP: Diferença de 7 % ^a	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)		EN 14023	°C	-	-	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	Topo	Penetração, 25 °C	EN 1426	1/10 mm	-	-
		T. de amolecimento	EN 1427	°C	-	-
	Fundo	Penetração, 25 °C	EN 1426	1/10 mm	-	-
		T. de amolecimento	EN 1427	°C	-	-
	Diferença na penetração		EN 13399	1/10 mm	-	-
	Diferença na T. de amolecimento		EN 13399	°C	-	-
**Recuperação elástica, 25 °C, após EN 12607-1 (RTFOT)		EN 13398	%	BMP: Diferença de 4 % ^a	BMP: Diferença de 7 % ^a	
Massa volúmica ^b		EN ISO 3838	g/ml	B: 0,003	B: 0,005	

^a - podendo exceder este valor uma vez em vinte

^b - ensaio efectuado quando necessário o seu valor para avaliação duma propriedade (neste caso, temperatura de fragilidade de Fraass)

^c - valores encontrados para BMP em ensaios circulares

^d - para ensaios à temperatura de 163 °C

$$E' - E' = E'_{0,2} - E'_{0,4}$$

4 - TRABALHO EXPERIMENTAL NO LNEC

4.1 - Plano de trabalho

O estudo experimental tem como objectivo a caracterização dos BMP, comercializados em Portugal, com vista ao seu enquadramento no quadro das especificações da Norma Europeia EN 14023. Para a sua realização foram seleccionadas propriedades essenciais e adicionais, no total de 11 e indicadas na secção 3.

As amostras para ensaio, inicialmente previstas, cinco por produtor num total de 15 amostras, foram substituídas, por acordo entre os intervenientes no estudo, por 5 amostras de dois produtores, CEPSA e REPSOL, e 8 do produtor GALP num total de 18 amostras.

Para a realização do estudo experimental no LNEC foi decidido um prazo de cerca de 18 meses após a aceitação do plano de trabalhos proposto, prevendo-se o início da entrega das amostras, em Setembro de 2006.

4.2 - Amostras para ensaio

Para a realização do estudo experimental foram fornecidas 18 amostras de BMP, dos três produtores, CEPSA, GALP e REPSOL, que comercializam estes tipos de betumes em Portugal.

A fim de evitar reaquecimentos de produto, para cada produto BMP, foi acordado o envio de uma amostra constituída por cerca de 15 latas com 1 L de BMP cada.

A identificação das amostras por produtor e a identificação correspondente no LEMOC-Laboratório de Ensaios de Materiais Orgânicos para a Construção do LNEC, assim como a data de recepção das amostras estão apresentadas nos Quadros 4 a 6. Nestes quadros indica-se ainda a identificação das amostras usada ao longo deste relatório.

Quadro 4 - Identificação das amostras da CEPESA

Identificação das amostras			Data da recepção das amostras	Quantidade, L
CEPSA	LEMOC/LNEC	RELATÓRIO		
Factoria: ALC Código: 71002 Produto: STY 13/40	116/2007	Sty 13/40	2007-10-17	15x1
Proas: CEPESA Código: 71005 Produto: STY 13/60 Lote: ALC-0293 Agosto/06	156/2006	Sty 13/60	2006-10-06	15x1
Factoria: ALC Código: 71035 Produto: RAF 2 Lote: 3823 Operário: 080906 Observaciones: Tr.2	178/2006	RAF 2	2006-10-30	15x1
Factoria: SEC Código: 71040 Produto: NEWPLAST Lote: INV-1402	205/2006	Sty Newplast	2006-11-29	14x1
Factoria: ALC Código: 71010 Produto: Sty15/60 Lote: INV-1449	206/2006	Sty 15/60	2006-11-29	15x1

Quadro 5 - Identificação das amostras da REPSOL

Identificação das amostras			Data da recepção das amostras	Quantidade, L
REPSOL	LEMOC/LNEC	RELATÓRIO		
BM 3a REPSOL YPF	171/2006	BM-3a	2006-10-23	15x1
BM-2 REPSOL YPF	184/2006	BM-2	2006-11-06	3x1 + 6x2
BM-3f REPSOL YPF	158/2006	BM-3f	2006-10-09	15x1
BM-1 REPSOL YPF	201/2006	BM-1	2006-11-22	2x1 + 6x2
BM-3c REPSOL YPF	155/2006	BM-3c	2006-10-04	15x1

Quadro 6 - Identificação das amostras da GALP

Identificação das amostras			Data da recepção das amostras	Quantidade, L
GALP	LEMOC/LNEC	RELATÓRIO		
ProbiGALP ligantes betuminosos SA GALP kerovia Amostra 1	139/2006	Kerovia A6	2006-09-14	13x1
2	25/2008	Kerovia A8	2008-01-28	2x5
ProbiGALP Ligantes Betuminosos SA Elastoplas	136/2006	Elastoplas	2006-09-14	6x1
Produto: Betume Alto IP Local da colheita: Rio Maior Colheita da amostra: 08/10/2007 Hora da colheita da amostra: 15:00 Nº de lote: amostra 07.031	115/2007	Alto IP	2007-10-16	15x1
Produto: Pb 1,5 (35/50) Local da colheita: Rio Maior Colheita da amostra: 06/12/2006 Hora da colheita da amostra: 10:00	211/2006	PB 1,5 (35/50) A6	2006-12-12	15x1
Produto: Betume Pb 1,5 (35/50)	211/2006	PB 1,5 (35/50) A7	2007-07-01	15x1
Produto: Betume Pb 1,5 (50/70) Local da colheita: Rio Maior Colheita da amostra: 06/12/06 Hora da colheita da amostra: 11:00	210/2006	PB 1,5 (50/70) A6	2006-12-12	15x1
Produto: Betume Pb 1,5 (50/70) Local da colheita: Rio Maior	210/2006	PB 1,5 (50/70) A7	2007-07-01	15x1

As condições de amostragem e a colheita de amostras foram da responsabilidade dos produtores de BMP, admitindo-se que a unidade ensaiada é representativa da totalidade das unidades recebidas.

Para cada amostra o produtor forneceu a Ficha Técnica e o Boletim de Ensaios. Constatou-se que os boletins entregues apresentavam valores para as propriedades penetração e temperatura de amolecimento, mas, em relação às outras propriedades, nem sempre estas estavam quantificadas.

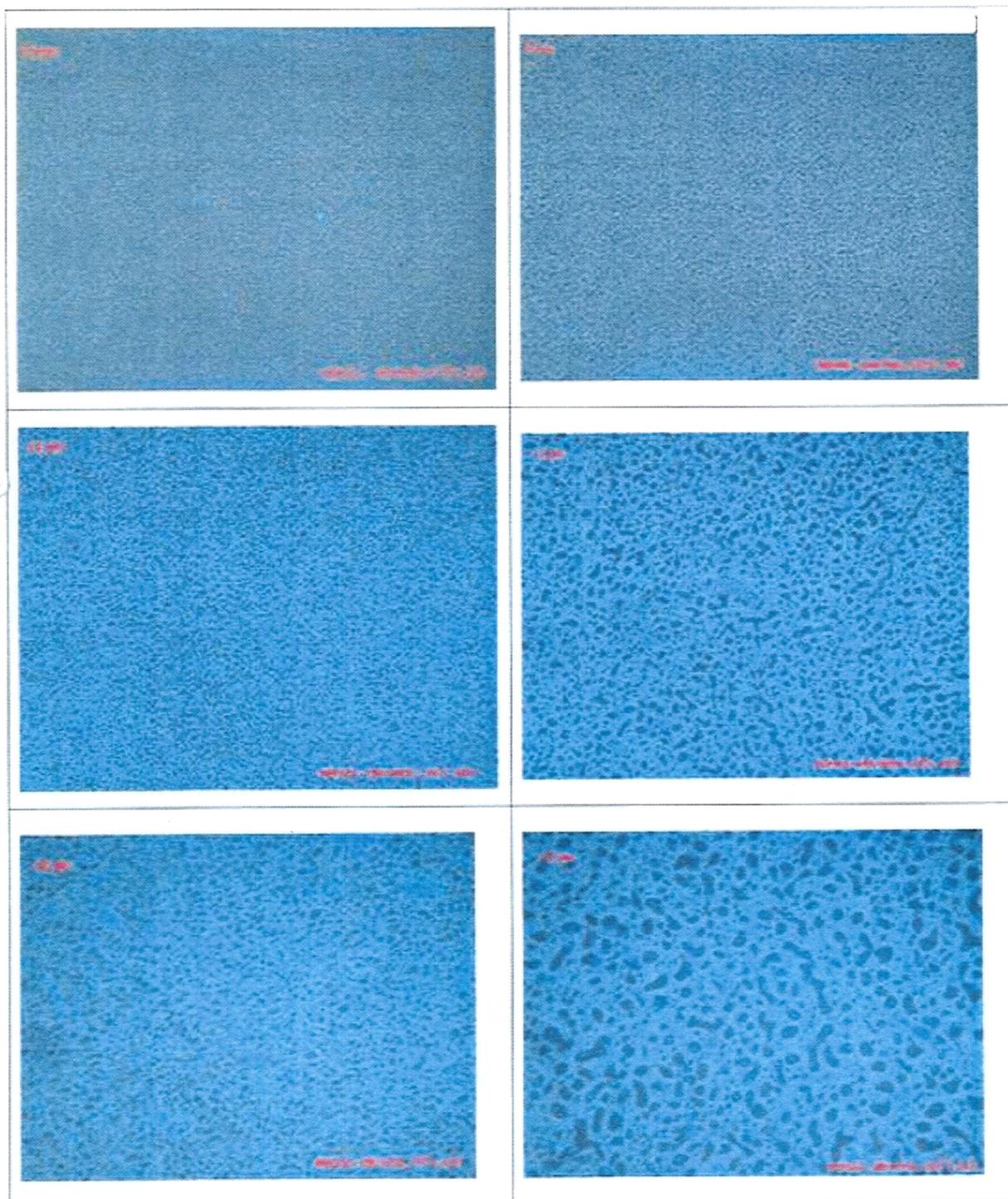
4.3 - Preparação de amostra de ensaio

Nas amostras constituídas por várias unidades de 1 L ou 2 L, cada unidade de 1 L ou de 2 L de betume, foi considerada como representativa da amostra a ensaiar.

Uma amostra foi substituída, por apresentar grumos, não satisfazendo a observação das propriedades sensoriais.

A preparação das amostras para ensaio foi efectuada satisfazendo o estabelecido na norma EN 12594:1999 e de acordo com as recomendações do produtor, com excepção da recomendação inicial da REPSOL que aconselhava agitação mecânica com hélice para todos os betumes, após fluidificação a temperatura não superiores a 160 °C. Durante a fluidificação do betume BM-3f da REPSOL, verificou-se que o tempo necessário para a fluidificação da amostra era superior a 2 horas conforme o especificado na norma para ter, aparentemente, uma amostra homogénea e constatou-se que, subindo a temperatura de fluidificação para 170 °C conseguia reduzir-se o tempo de fluidificação. Para a visualização da dispersão do polímero no betume efectuaram-se observações por microscopia de epifluorescência com 3 ampliações de amostras de BMP fluidificadas a 160 °C e de 170 °C, Fig.1, verificando-se uma dispersão mais homogénea do polímero no BMP fluidificado a 170 °C. Assim e de acordo com a REPSOL, alteraram-se as condições de preparação de amostras para as indicadas no Quadro 7.

As condições de preparação das amostras para ensaio, por produtor, estão resumidas no Quadro 7.



a)

b)

Fig.1 - Observação da estrutura de BMP, BM- 3f a diferentes temperaturas de fluidificação:

a) 170 °C

b) 160 °C

Quadro 7 - Condições de preparação de amostras para ensaio

Produtor	Amostras	Temperatura de fluidificação	Tempo de fluidificação	Agitação
CEPSA	Sty 13/40 Sty 13/60 Sty Newplast Sty 15/60	180 °C	-1 h 30 min. para latas de 1 L	Manual
	RAF 2	190 °C		
GALP	Kerovia A6 Kerovia A8 Elastoplas Alto IP	170 °C	-1 h 30 min. para latas de 1 L - 7 h para latas de 5 L	Manual
	PB 1,5 (35/50) A6			
	PB 1,5 (35/50) A7			
	PB 1,5 (50/70) A6			
	PB 1,5 (50/70) A7			
REPSOL	BM-3a BM-2 BM-3c	170 °C	- 3 h para latas de 2 L -1 h 30 min. para latas de 1 L	Manual
	BM -1 BM-3f	180 °C		

4.4 - Condições de ensaio

Indicam-se a seguir as condições de ensaio utilizadas para avaliação das propriedades seleccionadas e das propriedades complementares necessárias à realização do estudo.

Caracterização de propriedades sensoriais - realizada segundo a EN 1425

Determinação da penetração com agulha - efectuada segundo a norma EN 1426:1999, nas seguintes condições:

Temperatura de ensaio: 25 °C

Carga: 100 g

Tempo de aplicação da carga: 5 segundos

Penetrómetro: marca PETROTEST, modelo PNR 10

Fidelidade: os critérios de repetibilidade e de reprodutibilidade apenas aplicáveis a betumes, podendo ser usados para BMP apenas como guia.

Determinação da temperatura de amolecimento - Método do anel e bola - efectuada segundo a norma EN 1427:1999, nas seguintes condições:

Tipo de aparelho: semi-automático;

Banho: água ou glicerina dependendo da temperatura de amolecimento;

Fidelidade: os critérios de repetibilidade e de reprodutibilidade são aplicáveis quando o banho usado é o banho de água. Os valores obtidos em banho de glicerina, em ensaios circulares realizados na Dinamarca, para a fidelidade, podem ser usados apenas como guia.

Coesão: Determinação das propriedades de tracção de betumes modificados – Método da ductilidade - efectuada segundo a norma EN 13589, nas seguintes condições:

Expressão dos resultados: resultados calculados, $E' = E'_{0,2} - E'_{0,4}$, de acordo com a norma EN 13703, Anexo A.

Fidelidade: indicada no Quadro 3.

Determinação da massa volúmica – Método do picnómetro - determinada segundo a norma EN ISO 3838.

Determinação da resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT (película fina e rotativa em estufa), segundo a norma EN 12607-1 nas seguintes condições:

Temperatura de ensaio: 163 °C

Avaliação das seguintes propriedades:

- Variação de massa, determinada pela norma EN 12607-1, expressa em percentagem (m/m), apresentando um valor negativo se houver perda de massa e um valor positivo se houver um ganho de massa.
- Penetração retida, expressa em percentagem, obtida pela expressão $P2/P1 \times 100$
em que
 - P1 penetração por agulha, inicial, a 25 °C (EN 1426)
 - P2 penetração por agulha, final, a 25 °C (EN 1426)

- Aumento da temperatura de amolecimento, obtido pela diferença entre a temperatura de amolecimento final e a inicial, determinadas pelo método de anel e bola de acordo com a norma EN 1427.

Fidelidade: critérios de repetibilidade e de reprodutibilidade apenas aplicáveis a betumes, podendo ser usados para BMP apenas como guia.

Determinação da temperatura de fragilidade Fraass - efectuada segundo a EN 12593, nas seguintes condições:

Tipo de aparelho: manual,

Fidelidade: critérios de repetibilidade e de reprodutibilidade apenas aplicáveis a betumes, podendo ser usados para BMP apenas como guia.

Intervalo de plasticidade - determinado de acordo com a secção 5.1.9 da norma EN 14023

Determinação da recuperação elástica de betumes modificados - efectuada segundo a EN 13398, nas seguintes condições:

Temperatura: 25 °C

Fidelidade: a indicada no Quadro 3.

Determinação da estabilidade ao armazenamento de betumes modificados - efectuada segundo a norma EN 13358. Esta norma não apresenta critérios de fidelidade.

Avaliação das seguintes propriedades, no topo e no fundo:

- Penetração com agulha a 25 °C (EN 1426)
- Temperatura de amolecimento (EN 1427)

Expressão dos resultados: - diferença na penetração entre a do topo e a do fundo

- diferença na temperatura de amolecimento entre a do topo e a do fundo.

No Quadro 3 para além de se indicar as propriedades seleccionadas de acordo com a norma EN 14023, os métodos de ensaio e as unidades da expressão de resultados, apresenta-se ainda a fidelidade (critérios de repetibilidade e de reprodutibilidade) para betumes modificados com polímeros, BMP, e quando esta não exista indica-se a fidelidade para betumes convencionais. Os ensaios foram realizados em duplicado, apresentando-se a média dos resultados que cumpriram o critério de repetibilidade indicado para BMP, e no caso da sua ausência, foi considerado o critério indicado na norma para betumes convencionais.

4.5 - Resultados da caracterização laboratorial no LNEC por produtor

Nos Quadros 8 a 10 apresentam-se os resultados da caracterização laboratorial efectuada no LNEC dos BMP fornecidos pela CEPSA, GALP e REPSOL, respectivamente.

Quadro 8 - Resultados da caracterização laboratorial dos BMP fornecidos pela CEPSA

Propriedades essenciais* e adicionais**		Sty 13/60	RAF 2	Sty Newplast	Sty 15/60	Sty 13/40	
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s, 1/10 mm		58	50	20	52	43	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C		60,8	88,0	73,2	69,6	66,6	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade)	Coesão a 5 °C, J/cm ²	-	9,22	-	10,71	7,07	
	Coesão a 10 °C, J/cm ²	4,49	-	-	-	-	
	Coesão a 15 °C, J/cm ²	-	-	6,42	-	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	-0,314	-0,16	-0,345	-0,21	-0,23	
	*Penetração a 25 °C, 0,1 mm	37	38	14	35	33	
	*Penetração retida, %	64	76	70	67	77	
	*T. de amolecimento, °C	69,2	88,5	77,6	73,2	71,0	
	*Aumento de T. amolecimento, °C	8,4	0,5	4,4	3,6	4,4	
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	83	78	70	78	78	
Massa volúmica, g/cm ³		1,02	1,01	1,04	1,03	1,04	
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C		-21	-20	-6	-18	-20	
**Recuperação elástica a 25 °C, %		76	77	78	84	82	
**Intervalo de plasticidade, °C (T. amolecimento – T. Fraass)		81,8	108	79,2	87,6	86,6	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	Topo	*Penetração a 25 °C	46	55	13	59	55
		*T. de amolecimento, °C	59,6	88,0	71,8	65,6	66,2
	Fundo	*Penetração a 25 °C	46	32	12	58	44
		*T. de amolecimento, °C	59,6	86,0	71,0	65,6	65,6
	*Diferença na penetração, 0,1 mm		0	-23	-1	-1	-11
	*Diferença T. amolecimento, °C		0	-2	-0,8	0	-0,6

Quadro 9 - Resultados da caracterização laboratorial dos BMP fornecidos pela GALP

Propriedades Essenciais* e adicionais**		Alto IP	Kerovia A6	Kerovia A8	Elasto-plas	PB1,5 (35/50) A6	PB1,5 (35/50) A7	PB1,5 (50/70) A6	PB1,5 (50/70) A7	
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s, 0,1 mm		52	37	38	68	22	34	47	52	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C		71,4	83,0	113,0	46,6	68,4	84,5	66,0	79,8	
*Coesão: Força de ductilidade (tracção a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C,	8,45	-	14,58	^a	-	16,7	11,2	10,28	
	Coesão a 10 °C	-	10,8	-	^a	9,17	-	-	-	
	Coesão a 15 °C	-	-	-	^a	-	-	-	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	-0,07	0,06	-0,22	0,02	0,05	-0,13	-0,01	-0,09	
	*Penetração a 25 °C	36	28	40	25	20	23	29	34	
	*Penetração retida, %	69	76	105	37	91	68	62	65	
	*T. de amolecimento, °C	64,8	88	108	89,5	79,5	88	67,6	75,6	
	*Aumento de T. amolecimento, °C	-6,6	5	-5	42,9	11,1	3,5	1,6	-4,2	
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	85	90	95	87	78	78	79	88	
Massa volúmica, g/cm ³		1,03	1,03	0,99	1,03	1,01	1,03	1,04	1,02	
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C		-8	-13	<-35	-16	-9	-12	-9	-15	
**Recuperação elástica a 25 °C, %		79	92	93	5	90	85	90	90	
**Intervalo de plasticidade, °C (T. amolecimento – T. Fraass)		79,4	96	>148	62,6	77,4	96,5	75,0	94,8	
**Estabilidade ao armazenamen. EN 13399	Topo	*Penetração a 25 °C	55	38	81	41	27	80	48	55
		*T. de amolecimento, °C	56,0	99,0	113,0	67,6	92,0	101,0	57,8	79,8
	Fundo	*Penetração a 25 °C	56,0	39	43	42	26	20	48	53
		*T. de amolecimento	54,8	99,0	107,0	66,4	94,5	68,4	56,6	78,6
	*Diferença na penetração, 1/10 mm		1	1	38	1	1	60	0	2
	*Diferença T. amolecimento, °C		1,2	0	6,0	1,2	2,5	32,5	1,2	1,2

^a - amostra insuficiente

Quadro 10 - Resultados da caracterização laboratorial dos BMP fabricados pela REPSOL

Propriedades essenciais* e adicionais**		BM-3c	BM-3f	BM-3a	BM-2	BM-1	
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s, 0,1 mm		52	47	65	38	23	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C		67,8	90,0	67,8	68,8	75,0	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade)	Coesão a 5 °C, J/cm ²	12,36	-	5,99	-	-	
	Coesão a 10 °C, J/cm ²	-	3,08	-	-	-	
	Coesão a 15 °C, J/cm ² ^a	-	-	-	5,76	6,43	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	-0,122	0,002	0,126	-0,08	-0,31	
	*Penetração a 25 °C, 0,1mm	35	33	41	32	17	
	*Penetração retida, %	67	70	63	84	74	
	*T. de amolecimento, °C	72,0	93,0	60,4	72,6	86,0	
	*Aumento de T. amolecimento, °C	4,2	3,0	-7,4	3,8	11,0	
	**Recuperação elástica 25 °C, %	83	85	35	85	71	
Massa volúmica, g/cm ³		1,02	1,01	1,03	1,03	1,03	
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C		-20	-19	-16	-14	-8	
**Recuperação elástica a 25 °C, %		77	83	48	82	82	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass), °C		87,8	109,0	83,8	82,8	83,0	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	Topo	*Penetração a 25 °C	41	49	65	29	26
		*T. de amolecimento	65,2	89,5	66,4	68,6	71,6
	Fundo	*Penetração a 25 °C	37	51	65	31	25
		*T. de amolecimento	65,6	87,0	66,4	68,4	72,0
	*Diferença na penetração		4	2	0	2	1
	*Diferença de T. amolecimento		0,4	2,5	0	0,2	0,4

a - ensaio fora do âmbito da norma EN 14023

5 - AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

5.1 - Análise dos resultados obtidos pelo LNEC

Da análise dos resultados da caracterização laboratorial dos BMP fornecidos pelos produtores realizada pelo LNEC salienta-se o seguinte em função do fornecedor de BMP.

CEPSA

Em relação aos resultados obtidos com os BMP fornecidos pela CEPSA (Quadro - 8), verifica-se que o betume BMP, Sty 13/60, apresenta um valor de recuperação elástica a 25 °C após envelhecimento RTFOT superior em 7 unidades em % à recuperação elástica no BMP original. Dado que, após envelhecimento não seria previsível que houvesse aumento da recuperação elástica do BMP, esta variação poderá ser atribuída ao facto dos ensaios não terem sido efectuados na mesma unidade da amostra. No entanto, considerando que a reprodutibilidade do método de ensaio para a recuperação elástica estabelece para a diferença entre dois ensaios efectuados em laboratórios diferentes com o mesmo produto, um valor limite máximo de 7 unidades em percentagem para aceitação de resultados, permitirá deduzir que uma variação de 7 % no valor da recuperação elástica não é significativa.

GALP

Da análise dos resultados obtidos nos betumes BMP fornecidos pela GALP (Quadro - 9) ressalta o seguinte:

- O BMP, Alto IP, apresenta um valor para a recuperação elástica após envelhecimento RTFOT superior em 6 % em relação ao valor da recuperação elástica do BMP original. Para explicar este aumento, aplica-se a mesma justificação dada no caso do betume Sty 13/60 da CEPSA.
- O BMP, Elastoplas, apresenta valores que indicam que a embalagem (unidade) deste BMP seleccionada para a determinação da recuperação elástica inicial tinha um teor de polímero muito baixo, enquanto que a unidade de amostra usada no ensaio de envelhecimento, RTFOT possuía uma elevada percentagem de polímero. Esta diferença de resultados, poderá

estar relacionada com a colheita de amostra. Estes ensaios não puderam ser repetidos por falta de amostra.

- Os BMP Kerovia A6 e Kerovia A8 apresentam valores de penetração da mesma ordem de grandeza. No entanto há diferenças nas outras propriedades analisadas, nomeadamente nas temperaturas de amolecimento antes e após envelhecimento. Este facto permite concluir que BMP com a mesma penetração podem ter propriedades essenciais e adicionais diferentes.
- Os BMP Alto IP, Kerovia A8 e PB1,5 (50/70) A7, apresentam uma queda da temperatura de amolecimento após envelhecimento, RTFOT. Este facto implica que a propriedade inicialmente em estudo, “aumento da temperatura de amolecimento após RTFOT”, não possa ser considerada como propriedade essencial mas sim como propriedade adicional “queda ou diminuição da temperatura de amolecimento após envelhecimento, RTFOT”, de acordo com a norma EN 14023.
- Os BMP PB 1,5 (35/50) A7 e o Kerovia A8, apresenta valores elevados para estabilidade ao armazenamento.

REPSOL

A análise dos resultados obtidos com os BMP fornecidos pela REPSOL (Quadro – 9) revela algumas situações, idênticas às anteriormente relatadas, nomeadamente no BMP BM-3a observa-se diminuição da temperatura de amolecimento após envelhecimento, RTFOT e no BM-3c verifica-se aumento do valor da propriedade recuperação elástica a 25 °C após envelhecimento em relação ao obtido com o BMP inicial.

Em resumo, foi possível realizar os ensaios programados para avaliação das propriedades seleccionadas e os resultados obtidos obedeceram aos critérios de repetibilidade estabelecidos na norma de ensaio respectiva para BMP ou na ausência destes, nas de betumes convencionais.

5.2 - Análise dos resultados fornecidos pelo produtor

Para possibilitar a análise comparativa de resultados entre os obtidos no estudo experimental efectuado no LNEC e os resultados obtidos pelos produtores, com amostras dos mesmos lotes, foram fornecidos boletins de ensaio referentes aos lotes ensaiados e/ ou Fichas Técnicas do produto.

Na análise a seguir efectuada foi usada a seguinte simbologia, em que o valor determinado:

☒ - satisfaz ao critério de reprodutibilidade indicado no Quadro 3, quando existe.

☒ - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade indicado no Quadro 3

5.2.1 - CEPSA

A CEPSA forneceu os Boletins Técnicos dos produtos, contendo:

- especificação do produto com base nos requisitos mínimos a que as propriedades essenciais e adicionais referenciadas na norma EN 14023, devem satisfazer:

- indicação dos métodos de ensaio para determinação das propriedades essenciais e adicionais;

- os resultados de ensaios de lote da amostra em estudo no LNEC.

Posteriormente, identificou os BMP em estudo de acordo com a EN do seguinte modo:

Sty 13/60.....	BMP 45/80 - 60
RAF 2.....	BMP 45/80 - 75
Sty Newplast.....	BMP 10/40 - 70
Sty 15/60.....	BMP 45/80 - 65
Sty 13/40.....	BMP 25/55 - 65

e informou que os BMP são de modificação química.

Da análise dos Boletins Técnicos ressalta que a especificação de produto incluem as propriedades essenciais e adicionais estudadas no estudo LNEC, com excepção da recuperação elástica a 25 °C após ensaio de envelhecimento, RTFOT, (propriedade adicional). Os requisitos, aos quais as propriedades devem satisfazer, são expressos por valores ou intervalos de valores e não em classes como é preconizado na EN 14023. Os valores especificados estão referidos com base nas normas NLT equivalentes. Para avaliação do envelhecimento, RFTOT, são especificados os mesmos valores que são especificados para o ensaio de envelhecimento, método de película fina efectuado segundo a norma NLT 185/99 - *Efecto del calor y del aire sobre los materiales bituminosos en película fina.*

Nos Quadros 11 a 15 apresentam-se os resultados dos produtos ensaiados pela CEPISA e a sua identificação de acordo com EN 14023, indicando-se também, para cada propriedade o valor obtido no estudo do LNEC, a diferença entre os resultados fornecidos pelo produtor e os obtidos no LNEC para análise da reprodutibilidade do método usado e na última coluna o seu enquadramento nas classes de requisitos da norma EN 14023 de acordo com os resultados obtidos no LNEC.

Quadro 11 - BMP: Sty 13/60. Resultados CEPISA e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	CEPISA: BMP 45/80 – 60			LNEC	Diferença Lote/LNEC	Classes EN 14023 LNEC	
	Especificação	Classes EN 14023	Lote				
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	55-70	4	55	58	3	4 e 5	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 58	6	59,6	60,8	1,2	6 a 10	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	3,33	-	-	-	
	Coesão a 10 °C	-	-	4,49	-	6	
	Coesão a 15 °C	-	-	-	-	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 1,0	-	0,24	-0,314	0,554	2 a 5
	*Penetração retida, %	≥ 65	-	65	64	1	2 a 7
	*Aumento de T. amolecimento, °C	5 a 10	-	9,5	8,4	1,1	3 e 4
	**Recuperação elástica a 25 °C, %		-	-	83	-	2 a 4
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -15	-	-18	-21	3	2 a 9	
**Recuperação elástica, 25 °C, %	≥ 50	-	76	76	0	3 a 5	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)		-	77,6	81,8	4,2	3 a 7	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 10	-	1	0	1	2 a 5
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 5	-	0	0	0	2

x - satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

x - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro

Quadro 12 - BMP: RAF 2. Resultados CEPESA e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	CEPSA: BMP 45/80 - 75			LNEC	Diferença Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC	
	Especificação	Classes EN 14023	Lote				
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	50-70	4	52	50	2	3 a 5	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 75	6	83,8	88,0	4,2	2 a 10	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	8,83	9,22	0,39	2 a 4	
	Coesão a 10 °C	-	-	-	-	-	
	Coesão a 15 °C	-	-	-	-	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 1	-	0,13	-0,16	0,290	2 a 5
	*Penetração retida, %	≥ 70	-	80	76	4	2 a 7
	*Aumento de T. amolecimento, °C	-4 a 8	-	1,1	0,5	0,6	2 a 4
	**Recuperação elástica 25 °C, %	-	-	-	78	-	2 a 4
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -20	-	-22	-20	2	2 a 9	
**Recuperação elástica a 25 °C, %	≥ 75	-	90	77	13	3 a 5	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	-	-	106	108	2	2 a 7	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 20	-	18	23	5	5
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 5	-	0,1	2	1,9	2

x - satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

x - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

Quadro 13 - BMP, Sty Newplast – Resultados CEPSSA e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	CEPSSA: BMP 10/40 - 70			LNEC	Diferença Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC
	Especificação	Classes EN 14023	Lote			
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	15-30	2	23	20	3	2
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 70	4	73,7	73,2	0,5	4 a 10
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	-	-	-	-
	Coesão a 10 °C	-	-	-	-	-
	Coesão a 15 °C	-	-	2,40	6,42	4,02
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 0,8	-	0,53	-0,345	0,875
	*Penetração retida, %	≥ 70	-	67	70	3
	*Aumento de T. amolecimento, °C	-4 a 8,0	-	7,8	4,4	3,4
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	-	70	-
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -4	-	-5	-6	1	2 e 3
**Recuperação elástica a 25 °C, %	≥ 30	-	55	78	23	3 a 5
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	-	-	78,7	79,2	0,5	4 a 7
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 5	-	0	1	1
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 5	-	0,4	0,8	0,4

x - satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

x - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

Quadro 14 - BMP: Sty 15/60. Resultados CEPSA e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	CEPSA: BMP 45/80 - . 65			LNEC	Diferença Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC
	Especificação	Classes EN 14023	Lote			
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	55-70	6	55	52	3	3 e 5
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 65	5	69,3	69,6	0,3	5 a 10
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	6,52	10,71	4,19	2 a 4
	Coesão a 10 °C	-	-	-	-	-
	Coesão a 15°	-	-	-	-	-
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 1,0	0,50	-0,21	0,71	2 a 5
	*Penetração retida, %	≥ 65	68	67	1	2 a 7
	*Aumento de T. amolecimento, °C	-5 a 10	7,3	3,6	3,7	2 a 4
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	78	-	2 a 4
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -17	-	-18	-18	0	2 a 8
**Recuperação elástica, 25 °C, %	≥ 70	-	89	84	5	2 a 5
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)		-	87,3	87,6	0,3	2 a 7
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 10	5	1	4	2 a 5
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 5	1,2	0	1,2	2

☒ - satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

☒ - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

Quadro 15 - BMP: Sty 13/40. Resultados CEPESA e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	CEPSA: BMP 25/55 - 65			LNEC	Diferença Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC	
	Especificação	Classes EN 14023	Lote				
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	35-50	3	44	43	1	3 a 5	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 65	5	65,3	66,6	1,3	5 a 10	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	-	7,07	-	2 a 4	
	Coesão a 10 °C	-	-	-	-	-	
	Coesão a 15 °C	-	-	-	-	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 0,8	-	0,45	-0,23	0,68	2 a 5
	*Penetração retida, %	≥ 70	-	69	77	8	2 a 7
	*Aumento de T. amolecimento, °C	-4 a 8	-	8,2	4,4	3,8	2 a 4
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	-	78	-	2 a 4
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -12	-	-13	-20	7	2 a 9	
**Recuperação elástica a 25 °C, %	≥ 40	-	82	82	0	2 a 5	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	-	-	78,3	86,6	-	2 a 7	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 5	-	0	11	11	3 a 5
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 3	-	0,1	0,6	0,4	2

☒ - satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

☒ - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

5.2.2 - GALP

A GALP forneceu:

- as Fichas Técnicas dos produtos, contendo:
 - o a descrição do produto;
 - o a especificação do produto com base nos requisitos mínimos e máximos que as propriedades devem satisfazer;
 - o as normas de ensaio (EN);
- os Boletins Técnicos, indicando
 - o os resultados do lote da amostra em estudo no LNEC para a penetração e temperatura de amolecimento.

Posteriormente, identificou os BMP em estudo de acordo com a EN do seguinte modo:

Kerovia A6	BMP 25/55 – 70
Kerovia A8	BMP 25/55 – 70
Elastoplas	BMP 65/105 – 80
Alto IP	BMP 25/55 – 65 ou BMP 45/80 – 65
PB 1,5 (35/50) A6	BMP 25/55 – 65
PB 1,5 (35/50) A7	BMP 25/55 – 65
PB 1,5 (50/70) A6	BMP 45/80 – 65
PB 1,5 (50/70) A8	BMP 45/80 – 65

Da análise das Fichas Técnicas dos produtos ressalta que a especificação de produto apresenta os requisitos, aos quais as propriedades devem satisfazer, expressos por valores ou intervalos de valores e não em classes como sé preconizado na EN 14023.

Nos Quadros 16 a 23 apresentam-se os resultados dos produtos em ensaios e identificados pela GALP de acordo com a EN 14023.

Quadro 16 - BMP: Kerovia A6. Resultados GALP e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	GALP: BMP 25/55 – 70			LNEC	Diferença Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC	
	Especificação	Classes EN 14023	Lote				
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	35-50	3	-	37	-	2 e 3	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 70	4	-	83,0	-	2 a 10	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	-	-	-	-	
	Coesão a 10 °C	-	-	10,8	-	6	
	Coesão a 15 °C	-	-	-	-	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 0,1	-	0,06	-	2 a 5	
	*Penetração retida, %	≥ 81	7	-	76	2 a 7	
	*Aumento de T. amolecimento, °C	< 2	2	-	5	2 a 4	
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	-	90	-	2 a 4
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -18	8	-22	-13	9	2 a 6	
**Recuperação elástica, 25 °C, %	≥ 25	1	96	92	4	2 a 5	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	≥ 98	2	-	96	-	2 a 7	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	-	-	-	1	-	2 a 5
	*Diferença na T. amolecimento, °C	-	-	1	0	0	2

x - satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

x - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

Quadro 17 - BMP. Kerovia A8. Resultados GALP e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	GALP: BMP 25/55 – 70			LNEC	Diferença Lote/LNEC	Classes EN 14023 LNEC	
	Especificação	Classes EN 14023	Lote				
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	35-50	3	42,6	38	4,6	2 e 3	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 70	4	>80	113,0	-	2 a 10	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	-	14,58	-	2 a 4	
	Coesão a 10 °C	-	-	-	-	-	
	Coesão a 15 °C	-	-	-	-	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 0,1	-	-0,22	-	2 a 5	
	*Penetração retida, %	≥ 81	7	105	-	2 a 7	
	*Aumento de T, amolecimento , °C	≤ 2	2	-	-5	3	
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	-	95	-	2 a 4
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -18	8	-	<-35	-	2 a 10	
**Recuperação elástica a 25 °C, %	≥ 25	1	86	93	7	2 a 5	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	≥ 98	2	-	>148	-	2 a 7	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	-	-	-	38	-	NPD/TBR
	*Diferença na T. amolecimento, °C	-	-	-	6	-	NPD/TBR

x - satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

x - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

Quadro 18 - BMP: Elastoplas. Resultados GALP e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	GALP: BMP 65/105 - 80			LNEC	Diferença Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC
	Especificação	Classes EN 14023	Lote			
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	70-100	6	-	68	-	4 a 6
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 80	2	-	46,6	-	9 e 10
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	-	a	-	-
	Coesão a 10 °C	-	-	a	-	-
	Coesão a 15 °C	-	-	a	-	-
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 0,2	2	-	0,02	2 a 5
	*Penetração retida, %	≥ 70	7	-	37	2
	*Aumento de T. amolecimento, °C	<2	2	-	42,9	-
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	-	87	-
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -20	9	-	-16	-	2 a 7
**Recuperação elástica a 25 °C, %	≥ 75	3	-	5	-	NPD/TBR
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	≥ 100	2	-	62,6	-	7
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 12	3	-	1	2 a 5
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 5	2	-	1,2	2

a - amostra insuficiente

x - satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

x - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

Quadro 19 - BMP: Alto IP. Resultados GALP e LNEC

Propriedades essenciais* e adicionais**	GALP: BMP 25/55 – 65 ou BMP: 45/80 - 65			LNEC	Diferença Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC
	Especificação	Classes EN 14023	Lote			
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	35-50 50-70	3 ou 4	-	52	-	3 a 5
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 65	5	-	71,4	-	4 a 10
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	-	8,45	-	2 a 4
	Coesão a 10 °C	-	-	-	-	-
	Coesão a 15 °C	-	-	-	-	-
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 0,2	2	-	-0,07	2 a 5
	*Penetração retida, %	≥ 80	7	-	69	2 a 7
	*Aumento de T. amolecimento, °C	<3	2	-	-6,6	NPD/TBR
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	-	85	2 a 4
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -15	7	-	-8	-	2 a 4
**Recuperação elástica a 25 °C, %	≥ 60	4	-	79	-	3 a 5
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	≥ 80	3	-	79,4	-	4 a 7
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 10	3	-	1	2 a 5
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 6	1	-	1,2	2

Quadro 20 - BMP: PB1,5 (35/50) A6. Resultados GALP e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	GALP: BMP 25/55 – 65			LNEC	Diferença Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC	
	Especificação	Classes EN 14023	Lote				
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	35-50	3	-	22	-	2	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 65	5	75	68,4	6,6	5 a 10	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	-	-	-	-	
	Coesão a 10 °C	-	-	9,17	-	6	
	Coesão a 15 °C	-	-	-	-	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 0,1	2	-	0,05	2 a 5	
	*Penetração retida, %	≥ 81	7	-	91	2 a 7	
	*Aumento de T. amolecimento, °C	≤ 2	2	-	11,1	4	
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	-	78	-	2 a 4
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -10	5	-11	-9	2	2 a 4	
**Recuperação elástica a 25 °C, %	≥ 60	-	-	90	-	2 a 5	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	≥ 75	4	86	77,4	8,6	4 a 7	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 8	2	-	1	-	2 a 5
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 5	2	1	2,5	1,5	2

x - satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

x - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

Quadro 21 - BMP: PB 1,5 (35/50) A8. Resultados GALP e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	GALP BMP 25/55 – 65			LNEC	Diferença Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC	
	Especificação	Classes EN 14023	Lote				
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	35-50	3	-	34	-	2 e 3	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 65	5	-	84,5	-	2 a 10	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	-	16,7	-	2 a 4	
	Coesão a 10 °C	-	-	-	-	-	
	Coesão a 15 °C	-	-	-	-	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 0,1	2	-	-0,13	2 a 5	
	*Penetração retida, %	≥ 81	7	-	68	2 a 7	
	*Aumento de T. amolecimento, °C	≤ 2	2	-	3,5	2 a 4	
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	-	78	-	2 a 4
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -10	5	-	-12	-	2 a 6	
**Recuperação elástica, 25 °C, %	≥ 60	-	-	85	-	2 a 5	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	≥ 75	4	-	96,5	-	2 a 7	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 8	2	-	60	-	NPD/TBR
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 5	2	-	32,5	-	NPD/TBR

x - satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

x - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

Quadro 22 - BMP: PB1,5 (50/70) A6. Resultados GALP e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	GALP: BMP: 45/80 – 65			LNEC	Diferença Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC
	Especificação	Classes EN 14023	Lote			
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	50-70	4	55	47	8	3 a 5
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 65	5	74	66,0	8	5 a 10
*Coesão: Força de ductilidade (tracção a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	-	11,2	-	2 a 4
	Coesão a 10 °C	-	-	-	-	-
	Coesão a 15 °C	-	-	-	-	-
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 0,1	2	-	-0,01	2 a 5
	*Penetração retida, %	≥ 81	7	-	62	2 a 7
	*Aumento de T. amolecimento, °C	≤ 2	2	-	1,6	2 a 4
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	-	79	-
**Temperatura de fragilidade de Fraass, °C	≤ -10	5	-11	-9	2	2 a 4
**Recuperação elástica a 25 °C, %	≥ 60	4	-	90	-	2 a 5
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	≥ 75	4	85	75,0	10	4 a 7
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 8	2	-	0	2 a 5
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 5	2	1	1,2	0,2

☒ - satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

☒ - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

Quadro 23 - BMP: PB1,5 (50/70) A7. Resultados GALP e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	GALP: BMP: 45/80 - 65			LNEC	Diferença Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC	
	Especificação	Classes EN 14023	Lote				
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	50-70	4	-	52	-	3 a 5	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 65	5	-	79,8	-	3 a 10	
*Coesão: Força de ductilidade (tracção a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	-	10,28	-	2 a 4	
	Coesão a 10 °C	-	-	-	-	-	
	Coesão a 15 °C	-	-	-	-	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	< 0,1	2	-	-0,09	2 a 5	
	*Penetração retida, %	≥ 81	7	-	65	2 a 7	
	*Aumento de T. amolecimento, °C	≤ 2	2	-	-4,2	3	
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	-	88	-	2 a 4
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -10	5	-11	-15	4	2 a 7	
**Recuperação elástica a 25 °C, %	≥ 60	4	-	90	-	2 a 5	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	≥ 75	4	-	94,8	-	2 a 7	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 8	2	-	2	-	2 a 5
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 5	2	1	1,2	0,2	2

x - satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

x - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

5.2.3 - REPSOL

A REPSOL forneceu:

- as Fichas Técnicas dos produtos, contendo:
 - o a descrição do produto, características técnicas e condições de manuseamento
 - o a especificação do produto com base nos requisitos mínimos e máximos que as propriedades devem satisfazer, não indicando quais as normas seguidas na sua avaliação.
- os Boletins Técnicos, indicando:
 - o os métodos de ensaio de segundo normas EN14023;
 - o os resultados do mesmo lote da amostra em estudo no LNEC para as propriedades essenciais e adicionais seleccionadas da norma EN 14023.

Posteriormente, identificou os BMP em estudo de acordo com a EN 14023, do seguinte modo:

BM-1.....	BMP 10/40 – 65
BM-2.....	BMP 25/55 – 65
BM-3a.....	BMP 45/80 – 55
BM-3c.....	BMP 45/80 – 65
BM-3f.....	BMP 45/80 - 80

Da análise das Fichas Técnicas dos produtos ressalta que a especificação apresenta os requisitos aos quais as propriedades devem satisfazer, expressos por valores ou intervalos de valores e não em classes como é preconizado na EN 14023.

A análise dos Boletins Técnicos revela que são apresentados valores para todas as propriedades essenciais e adicionais estudadas no LNEC.

Nos Quadros 24 a 28 apresentam-se os resultados dos produtos ensaiados e identificados pela REPSOL de acordo com a EN 14023.

Quadro 24 - BMP: BM-3c. Resultados REPSOL e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	REPSOL: BMP 45/80 - 65			LNEC	Diferença Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC	
	Especificação	Classes EN 14023	Lote				
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	45-80 ^a (55-70)	4	58	52	6	3 a 5	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 65	5	66	67,8	1,8	5 a 10	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	7,5	12,36	4,86	2 a 4	
	Coesão a 10 °C	-	-	-	-	-	
	Coesão a 15 °C	-	-	-	-	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 1	-	-0,002	-0,122	0,120	2 a 5
	*Penetração retida, %	≥ 65	-	73	67	6	2 a 7
	*Aumento de T. amolecimento, °C	-5 a 10	-	3,2	4,2	1	2 a 4
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	81	83	2	2 a 4
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -15	-	-18	-20	2	2 a 9	
**Recuperação elástica a 25 °C, %	≥ 70	-	86	77	9	3 a 5	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	-	-	84	87,8	3,8	2 a 7	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 10	-	0,1	4	3,9	2 a 5
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 5	-	2	0,4	1,6	2

^a - de acordo com a EN 14023

(..) – na especificação

X - satisfaz ao critério de reprodutibilidade indicado no Quadro 3

X - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade indicado no Quadro 3

Quadro 25 - BMP: BM-3a. Resultados REPSOL e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	REPSOL:BMP 45/80- 55			LNEC	Diferença Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC	
	Especificação	Classes EN 14023	Lote				
*Penetração com agulha, 25 °C, 100g e 5s,	45-80 ^a (55-70)	4	65	65	0	4 a 6	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 50 ^a (≥ 58)	7	65,4	67,8	2,4	5 a 10	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	3,2	5,99	2,79	2 a 4	
	Coesão a 10 °C	-	-	-	-	-	
	Coesão a 15 °C	-	-	-	-	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa,	≤ 1	-	0,09	0,126	0,036	2 a 5
	*Penetração retida, %	≥ 65	-	77	63	14	2 a 7
	*Aumento de T, amolecimento , °C	-5 a 10	-	2	-7,4	9,4	NPD/TBR
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	45	35	10	NPD/TBR
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -10	-	-11	-16	5	2 a 7	
**Recuperação elástica a 25 °C, %	≥ 25	-	55	48	7	NPD/TBR	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	-	-	76,4	83,8	7,4	3 a 7	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 10	-	0,2	0	0,2	2 a 5
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 5	-	0,6	0	0,6	2

^a - de acordo com a EN14023

(..) – na especificação

X - satisfaz ao critério de reprodutibilidade indicado no Quadro 3

X - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade indicado no Quadro 3

Quadro 26 - BMP: BM-3f. Resultados REPSOL e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	REPSOL: BMP 45/80-80			LNEC	Diferença a Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC	
	Especificação	Classes EN 14023	Lote				
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	45-80 ^a	4	53	47	6	3 a 5	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 75	2	95	90,0	5	2 a 10	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	7,5	-	-	-	
	Coesão a 10 °C	-	-	3,08	-	6	
	Coesão a 15 °C	-	-	-	-	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	-0,8	-	-0,03	0,002	0,032	2 a 5
	*Penetração retida, %	≥ 60	-	75	70	5	2 a 7
	*Aumento de T. amolecimento, °C	-5 a 10	-	0,3	3,0	3,3	2 a 4
	**Recuperação elástica 25 °C, %	-	-	85	85	0	2 a 4
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -15	-	-19	-19	0	2 a 8	
**Recuperação elástica a 25 °C, %	≥ 70	-	91	83	8	2 a 5	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	-	-	114	109,0	5	2 a 7	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 10	-	1	2	1	2 a 5
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 5	-	1,1	2,5	1,4	2

^a - de acordo com a EN14023

(.) – na especificação

☒ - satisfaz ao critério de reprodutibilidade indicado no Quadro 3

☒ - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade indicado no Quadro 3

Quadro 27 - BMP: BM-2. Resultados REPSOL e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	REPSOL: BMP 25/55-65			LNEC	Diferença a Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC	
	Especificação	Classes EN 14023	Lote				
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	25-55	3	43	38	5	2 e 3	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 65	5	68,5	68,8	0,3	5 a 10	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	-	5,76	-	2 a 4	
	Coesão a 10 °C	-	-	-	-	-	
	Coesão a 15 °C	-	-	3,6	-	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 0,8	-	-0,109	- 0,08	0,029	2 a 5
	*Penetração retida, %	≥ 70	-	70	84	14	2 a 7
	*Aumento de T, amolecimento , °C	-4 a 8	-	8	3,8	4,2	2 a 4
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	85	85	0	2 a 4
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -8	-	-15	-14	1	2 a 6	
**Recuperação elástica a 25 °C, %	≥ 10	-	90	82	12	2 a 5	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	-	-	83,5	82,8	1,1	3 a 7	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	≤ 8	-	0,3	2	1,6	2 a 5
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 5	-	0,6	0,2	0,4	2

☒ - satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

☒ - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade para BMP indicado no Quadro 3

Quadro 28 - BMP, BM-1. Resultados REPSOL e LNEC

Propriedades Essenciais* e adicionais**	REPSOL: BMP 10/40-70			LNEC	Diferença Lote/ LNEC	Classes EN 14023 LNEC	
	Especificação	Classes EN 14023	Lote				
*Penetração com agulha, 25 °C, 100 g e 5 s	10-40 ^a	2	27	23	4	2	
*Temperatura de amolecimento, (método do anel e bola), °C	≥ 70	4	75,6	75,0	0,6	3 a 10	
*Coesão: Força de ductilidade (tração a baixa velocidade), J/cm ²	Coesão a 5 °C	-	-	-	-	-	
	Coesão a 10 °C	-	-	6,9	-	-	
	Coesão a 15 °C	-	-	-	6,43	-	
*Durabilidade (resistência ao envelhecimento sob o efeito do calor e do ar, pelo método RTFOT) EN 12607-1	*Variação de massa, %	≤ 0,8	-	-0,135	- 0,31	0,175	2 a 5
	*Penetração retida, %	≥ 70	-	82	74	8	2 a 7
	*Aumento de T. amolecimento, °C	-4 a 8	-	6	11	5	4
	**Recuperação elástica a 25 °C, %	-	-	75	71	4	2 a 4
**Temperatura de fragilidade Fraass, °C	≤ -4	-	-8	-8	0	2 a 4	
**Recuperação elástica a 25 °C, %	≥ 15 a 40 °C	-	85 a 40 °C	82	-	2 a 5	
**Intervalo de plasticidade (T. amolecimento – T. Fraass)	-	-	83,6	83	0,6	3 a 7	
**Estabilidade ao armazenamento EN 13399	*Diferença na penetração, 1/10 mm	-	-	1	8	2 a 5	
	*Diferença na T. amolecimento, °C	≤ 5	-	-	0,4	6,4	2

^a - de acordo com a EN14023

X - satisfaz ao critério de reprodutibilidade indicado no Quadro 3

X - não satisfaz ao critério de reprodutibilidade indicado no Quadro 3

5.3 - Análise comparativa entre resultados obtidos pelo LNEC e pelo produtor

Nos Quadros 11 a 28 apresentam-se, por produto ensaiado e para cada propriedade, os resultados obtidos pelo produtor e os obtidos pelo LNEC e sempre que possível, as diferenças entre eles. No entanto, verifica-se que os produtores nem sempre indicaram valores para as propriedades seleccionadas para o estudo.

A análise da diferença entre os valores obtidos pelo produtor e pelo LNEC para o mesmo lote de produto e para as propriedades (temperatura de amolecimento, recuperação elástica a 25 °C e coesão) em que o método de ensaio apresenta critério de reprodutibilidade, revela que esses critérios, indicados no Quadro 3, foram cumpridos do seguinte modo:

- Recuperação elástica a 25 °C antes e após envelhecimento RTFOT - em 17 BMP com valores indicados pelo produtor, 11 cumpriram o critério de reprodutibilidade.
- Temperatura de amolecimento inicial e após envelhecimento RTFOT e estabilidade ao armazenamento - em 23 BMP com valores indicados pelo produtor 15 cumpriram o critério de reprodutibilidade.
- Coesão - em 9 BMP há indicação de valores para esta propriedade pelos produtores para uma das várias temperaturas (5 °C, 10 °C ou 15 °C). Nem sempre foi possível obter a diferença entre estes valores e os obtidos no LNEC porque a temperatura de ensaio não foi a mesma. Verificou-se que para a coesão à mesma temperatura (5 °C) apenas 2 BMP cumpriram o critério.

Em relação às propriedades em que não há critérios de reprodutibilidade ou há apenas para betumes convencionais, a título indicativo, verifica-se que:

- Propriedade de penetração - em 12 BMP com valores indicados pelo produtor obteve-se em geral uma diferença em relação aos valores do LNEC não superior a 6 unidades de penetração.
- Temperatura de fragilidade Fraass - em 14 BMP com valores indicados pelo produtor, cumpre-se o critério para betumes convencionais em 11 deles.

- Estabilidade ao armazenamento avaliada pela diferença na penetração - em 9 BMP com valores indicados pelo produtor a diferença em relação aos do LNEC é inferior a 5 unidades de penetração em 8 deles.
- Estabilidade ao armazenamento avaliada pela diferença na temperatura de amolecimento – em 13 BMP com valores indicados pelo produtor a diferença em relação aos do LNEC a diferença é inferior a 2 °C em todos.

Em resumo, pode afirmar-se que as diferenças encontradas entre os valores indicados pelos produtores para algumas características e os obtidos no LNEC, não invalidam os resultados obtidos no estudo, pois seriam de esperar as pequenas diferenças detectadas, devido ao próprio método de fabrico dos BMP. As grandes diferenças podem ser explicadas por uma colheita deficiente de amostra repartida por várias unidades as quais foram, no estudo, consideradas com representativas da amostra.

6 - ENQUADRAMENTO NA NORMA EN 14023

O enquadramento das propriedades dos BMP comercializados em Portugal e fornecidos pelos três produtores nos requisitos da norma EN 14023 é analisado nas secções seguintes por propriedade e por classe de penetração.

6.1 - Por propriedade

6.1.1 - Penetração com agulha

O enquadramento da penetração, em função dos resultados obtidos no estudo do LNEC e dos indicados pelos produtores de BMP, nas classes de requisitos da norma EN 14023 apresenta-se no Quadro 29.

Quadro 29 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Penetração com agulha

Produtor	Identificação BMP	Especificação	Produtor		LNEC	Classes EN 14023 LNEC
			Classes EN 14023	Lote		
CEPSA	Sty 13/60	50-70	4	55	58	4 e 5
CEPSA	RAF 2	50-70	4	52	50	3 a 5
CEPSA	Sty Newplast	15-30	2	23	20	2
CEPSA	Sty 15/60	55-70	4	55	52	3 a 5
CEPSA	Sty 13/40	35-50	3	44	43	3 e 5
GALP	Alto IP	35-50 50-70	3 ou 4	-	52	3 a 5
GALP	Kerovia A6	35-70	3	48	37	2 e 3
GALP	Kerovia A8	35-70	3	42,6	38	2 e 3
GALP	Elastoplas	70-100	6	45	68	4 a 6
GALP	PB 1,5 (35/50) A6	35-50	3	37	22	2
GALP	PB 1,5 (35/50) A8	35-50	3	-	34	2 e 3
GALP	PB 1,5 (50/70) A6	50-70	4	55	47	3 a 5
GALP	PB 1,5 (50/70) A7	50-70	4	-	52	3 a 5
REPSOL	BM-3c	55-70 45-80	4	58	52	3 a 5
REPSOL	BM-3f	45-80	4	53	47	3 a 5
REPSOL	BM-3 ^a	55-70 45-80	4	65	65	4 a 6
REPSOL	BM-2	25-55 25-55	3	43	38	2 e 3
REPSOL	BM-1	10-40	2	27	23	2

A análise dos valores apresentados neste quadro revela que a classificação atribuída pelos produtores aos seus produtos está dentro de uma das classes possíveis, atribuídas pelo do LNEC, segundo EN 14023 excepto para um betume BMP. Verifica-se que existem BMP para as classes de penetração de 2 a 6.

6.1.2 - Temperatura de amolecimento (método de anel e bola)

O enquadramento da temperatura de amolecimento em função dos resultados obtidos no estudo do LNEC e dos indicados pelos fornecedores de BMP, nas classes de requisitos da norma EN 14023 apresenta-se no Quadro 30.

Quadro 30 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Temperatura de amolecimento

Produtor	Identificação BMP	Produtor			LNEC	Classes EN 14023 LNEC
		Especificação	Classes EN 14023	Lote		
CEPSA	Sty 13/60	≥ 58	6	59,6	60,8	6 a 10
CEPSA	RAF 2	≥ 75	3	83,8	88,0	2 a 10
CEPSA	Sty Newplast	≥ 70	4	73,7	73,2	4 a 10
CEPSA	Sty 15/60	≥ 65	5	69,3	69,6	5 a 10
CEPSA	Sty 13/40	≥ 65	5	65,3	66,6	5 a 10
GALP	Alto IP	≥ 65	5	-	71,4	4 a 10
GALP	Kerovia A6	≥ 70	4	74,0	83,0	2 a 10
GALP	Kerovia A8	≥ 70	4	>80	113,0	2 a 10
GALP	Elastoplas	≥ 80	2	76,0	46,6	9 e 10
GALP	PB 1,5 (35/50) A6	≥ 65	5	75	68,4	5 a 10
GALP	PB 1,5 (35/50) A8	≥ 65	5	-	84,5	2 a 10
GALP	PB 1,5 (50/70) A6	≥ 65	5	74	66,0	5 a 10
GALP	PB 1,5 (50/70) A7	≥ 65	5	-	79,8	3 a 10
REPSOL	BM-3c	≥ 65	5	66	67,8	5 a 10
REPSOL	BM-3f	≥ 75	2	95	90,0	2 a 10
REPSOL	BM-3*	≥ 50	7	65,4	67,8	5 a 10
REPSOL	BM-2	≥ 65	5	68,5	68,8	5 a 10
REPSOL	BM-1	≥ 70	4	75,6	75,0	3 a 10

A análise dos valores apresentados no Quadro 30 permite verificar que a classificação atribuída pelos fabricantes aos seus produtos, nesta propriedade está dentro de uma das classes possíveis atribuídas pelo LNEC segundo a EN 14023, com exceção de um BMP.

6.1.3 - Coesão

O enquadramento da propriedade coesão (método da ductilidade), em função dos resultados obtidos no estudo do LNEC, nas classes de requisitos da norma EN 14023 apresenta-se no Quadro 31.

Quadro 31 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Coesão (Método da ductilidade)

Produtor	Identificação BMP	Produtor			LNEC	Classes EN 14023 LNEC
		Especificação	Classes EN 14023	Lote		
CEPSA	Sty 13/60	-	-	3,33*	4,49**	6
CEPSA	RAF 2	-	-	8,83*	9,22*	2 a 4
CEPSA	Sty Newplast	-	-	2,40***	6,42***	-
CEPSA	Sty 15/60	-	-	6,52*	10,71*	2 a 4
CEPSA	Sty 13/40	-	-	-	7,07*	2 a 4
GALP	Alto IP	-	-	-	8,45*	2 a 4
GALP	Kerovia A6	-	-	-	10,8**	6
GALP	Kerovia A8	-	-	-	14,58*	2 a 4
GALP	Elastoplas	-	-	-	a)	-
GALP	PB 1,5 (35/50) A6	-	-	-	9,17**	6
GALP	PB 1,5 (35/50) A8	-	-	-	16,7*	2 a 4
GALP	PB 1,5 (50/70) A6	-	-	-	11,2*	2 a 4
GALP	PB 1,5 (50/70) A7	-	-	-	10,28*	2 a 4
REPSOL	BM-3c	-	-	7,5*	12,36*	2 a 4
REPSOL	BM-3f	-	-	7,5*	3,08**	6
REPSOL	BM-3 ^a	-	-	3,2*	5,99*	2 a 4
REPSOL	BM-2	-	-	3,6***	5,76*	2 a 4
REPSOL	BM-1	-	-	6,9**	6,43***	-

* 5 °C

** 10 °C

***15 °C não exigido na EN 14023

A análise do enquadramento da propriedade coesão (método da ductilidade), no Quadro 31 permite verificar que classificação atribuída pelo LNEC abrange as classes 2, 3, 4 e 6.

6.1.4 - Envelhecimento RTFOT

O enquadramento da durabilidade pelo envelhecimento RTFOT, em função dos resultados obtidos no estudo do LNEC e dos indicados pelos fornecedores de BMP, nas classes de requisitos da norma EN 14023 apresenta-se nos Quadro 32 a 35.

Quadro 32 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Envelhecimento RTFOT - Variação de massa

Produtor	Identificação BMP	Produtor			LNEC	Classes EN 14023 LNEC
		Especificação	Classes EN 14023	Lote		
CEPSA	Sty 13/60	≤ 1,0	-	0.24	-0,314	2 a 5
CEPSA	RAF 2	≤ 1	-	0.13	-0,16	2 a 5
CEPSA	Sty Newplast	≤ 0,8	-	0.53	-0,345	2 a 5
CEPSA	Sty 15/60	≤ 1,0	-	0.50	-0,21	2 a 5
CEPSA	Sty 13/40	≤ 0,8	-	0.45	-0,23	2 a 5
GALP	Alto IP	≤ 0,2	2	-	-0,07	2 a 5
GALP	Kerovia A6	≤ 0,1	-	-	0,06	2 a 5
GALP	Kerovia A8	≤ 0,1	-	-	-0,22	2 a 5
GALP	Elastoplas	≤ 0,2	2	-	0,02	2 a 5
GALP	PB 1,5 (35/50) A6	≤ 0,1	2	-	0,05	2 a 5
GALP	PB 1,5 (35/50) A8	≤ 0,1	2	-	-0,13	2 a 5
GALP	PB 1,5 (50/70) A6	≤ 0,1	2	-	-0,01	2 a 5
GALP	PB 1,5 (50/70) A7	≤ 0,1	2	-	-0,09	2 a 5
REPSOL	BM-3c	≤ 1	-	-0.002	-0,122	2 a 5
REPSOL	BM-3f	≤ 0,8	-	-0.03	0,002	2 a 5
REPSOL	BM-3 ^a	≤ 1	-	0.09	-0,126	2 a 5
REPSOL	BM-2	≤ 0,8	-	-0.109	-0,08	2 a 5
REPSOL	BM-1	≤ 0,8	-	-0.135	-0,31	2 a 5

A análise do enquadramento da durabilidade pelo envelhecimento RTFOT – variação de massa no Quadro 32 permite verificar que a classificação atribuída pelos fabricantes aos seus produtos, nesta propriedade está dentro de uma das classes possíveis atribuídas pelo LNEC (2 a 5) segundo a EN 14023.

Quadro 33 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Envelhecimento RTFOT - Aumento ou diminuição da temperatura de amolecimento

Produtor	Identificação BMP	Produtor			LNEC	Classes EN 14023 LNEC
		Especificação	Classes EN 14023	Lote		
CEPSA	Sty 13/60	5 a 10	-	9,5	8,4	3 e 4
CEPSA	RAF 2	-4 a 8	-	1,1	0,5	2 a 4
CEPSA	Sty Newplast	-4 a 8	-	7,8	4,4	2 a 4
CEPSA	Sty 15/60	-5 a 10	-	7,3	3,6	2 a 4
CEPSA	Sty 13/40	-4 a 8	-	8,2	4,4	2 a 4
GALP	Alto IP	≤ 3	2	-	-6,6	NPD/TBR
GALP	Kerovia A6	≤ 2	2	-	5	2 a 4
GALP	Kerovia A8	≤ 2	2	-	-5	3
GALP	Elastoplas	≤ 2	2	-	42,9	NPD/TBR
GALP	PB 1,5 (35/50) A6	≤ 2	2	-	11,1	4
GALP	PB 1,5 (35/50) A8	≤ 2	2	-	3,5	2 a 4
GALP	PB 1,5 (50/70) A6	≤ 2	2	-	1,6	2 a 4
GALP	PB 1,5 (50/70) A7	≤ 2	2	-	-4,2	3
REPSOL	BM-3c	-5 a 10	-	3,2	4,2	2 a 4
REPSOL	BM-3f	-5 a 10	-	0,3	3,0	2 a 4
REPSOL	BM-3a	-5 a 10	-	2	-7,4	NPD/TBR
REPSOL	BM-2	-4 a 8	-	8	3,8	2 a 4
REPSOL	BM-1	-4 a 8	-	6	11,0	4

A análise do enquadramento da durabilidade pelo envelhecimento RTFOT – aumento ou queda da temperatura de amolecimento no Quadro 33 permite verificar que a classificação atribuída pelos fabricantes aos seus produtos, nesta propriedade está dentro de uma das classes possíveis segundo a EN 14023 - classes 2 a 4 para o aumento de temperatura e classes, 0 ou 1, 2 e 3 para a diminuição da temperatura de amolecimento.

**Quadro 34 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Envelhecimento RTFOT –
Recuperação elástica a 25 °C**

		Produtor			LNEC	Classes EN 14023 LNEC
Produtor	Identificação BMP	Especificação	Classes EN 14023	Lote		
CEPSA	Sty 13/60	-	-	-	83	2 a 4
CEPSA	RAF 2	-	-	-	78	2 a 4
CEPSA	Sty Newplast	-	-	-	70	2 a 4
CEPSA	Sty 15/60	-	-	-	78	2 a 4
CEPSA	Sty 13/40	-	-	-	78	2 a 4
GALP	Alto IP	-	-	-	85	2 a 4
GALP	Kerovia A6	-	-	-	90	2 a 4
GALP	Kerovia A8	-	-	-	95	2 a 4
GALP	Elastoplas	-	-	-	87	2 a 4
GALP	PB 1,5 (35/50) A6	-	-	-	78	2 a 4
GALP	PB 1,5 (35/50) A8	-	-	-	78	2 a 4
GALP	PB 1,5 (50/70) A6	-	-	-	79	2 a 4
GALP	PB 1,5 (50/70) A7	-	-	-	88	2 a 4
REPSOL	BM-3c	-	-	81	83	2 a 4
REPSOL	BM-3f	-	-	85	85	2 a 4
REPSOL	BM-3ª	-	-	45	35	NPD/TBR
REPSOL	BM-2	-	-	85	85	2 a 4
REPSOL	BM-1	-	-	75	71	2 a 4

A análise do enquadramento durabilidade pelo envelhecimento RTFOT – recuperação elástica a 25 °C, no Quadro 34 permite verificar que a classificação atribuída pelo LNEC abrange as classes 2 a 4.

Quadro 35 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Envelhecimento RTFOT – Penetração retida

Produtor	Identificação BMP	Produtor			LNEC	Classes EN 14023 LNEC
		Especificação	Classes EN 14023	Lote		
CEPSA	Sty 13/60	-	-	-	64	2 a 7
CEPSA	RAF 2	-	-	-	76	2 a 7
CEPSA	Sty Newplast	-	-	-	70	2 a 7
CEPSA	Sty 15/60	-	-	-	67	2 a 7
CEPSA	Sty 13/40	-	-	-	77	2 a 7
GALP	Alto IP	-	-	-	69	2 a 7
GALP	Kerovia A6	-	-	-	76	2 a 7
GALP	Kerovia A8	-	-	-	105	2 a 7
GALP	Elastoplas	-	-	-	37	2
GALP	PB 1,5 (35/50) A6	-	-	-	91	2 a 7
GALP	PB 1,5 (35/50) A8	-	-	-	68	2 a 7
GALP	PB 1,5 (50/70) A6	-	-	-	62	2 a 7
GALP	PB 1,5 (50/70) A7	-	-	-	65	2 a 7
REPSOL	BM-3c	-	-	-	67	2 a 7
REPSOL	BM-3f	-	-	-	70	2 a 7
REPSOL	BM-3a	-	-	-	63	2 a 7
REPSOL	BM-2	-	-	-	84	2 a 7
REPSOL	BM-1	-	-	-	74	2 a 7

A análise do enquadramento durabilidade pelo envelhecimento RTFOT – penetração retida, no Quadro 35 permite verificar que a classificação atribuída pelo LNEC abrange as classes 2 a 7.

6.1.5 - Temperatura de fragilidade Fraass

O enquadramento da temperatura de fragilidade Fraass, em função dos resultados obtidos no estudo do LNEC e dos indicados pelos fornecedores de BMP, nas classes de requisitos da norma EN 14023 apresenta-se no Quadro 36.

Quadro 36 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Temperatura de fragilidade Fraass

Produtor	Identificação BMP	Especificação	Produtor		LNEC	Classes EN 14023 LNEC
			Classes EN 14023	Lote		
CEPSA	Sty 13/60	≤ -15	-	-18	-21	2 a 9
CEPSA	RAF 2	≤ -20	-	-22	-20	2 a 9
CEPSA	Sty Newplast	≤ -4	-	-5	-6	2 e 3
CEPSA	Sty 15/60	≤ -17	-	-18	-18	2 a 8
CEPSA	Sty 13/40	≤ -12	-	-13	-20	2 a 9
GALP	Alto IP	≤ -15	7	-	-8	2 a 4
GALP	Kerovia A6	≤ -18	8	-22	-13	2 a 6
GALP	Kerovia A8	≤ -18	8	-	<-35	2 a 10
GALP	Elastoplas	≤ -20	9	-	-16	2 a 7
GALP	PB 1,5 (35/50) A6	≤ -10	5	-11	-9	2 a 4
GALP	PB 1,5 (35/50) A8	≤ -10	5	-	-12	2 a 6
GALP	PB 1,5 (50/70) A6	≤ -10	5	-11	-9	2 a 4
GALP	PB 1,5 (50/70) A7	≤ -10	5	-11	-15	2 a 7
REPSOL	BM-3c	≤ -15	-	-18	-20	2 a 9
REPSOL	BM-3f	≤ -15	-	-19	-19	2 a 8
REPSOL	BM-3a	≤ -10	-	-11	-16	2 a 7
REPSOL	BM-2	≤ -8	-	-15	-14	2 a 6
REPSOL	BM-1	≤ -4	-	-8	-8	2 a 4

A análise do enquadramento da temperatura de fragilidade Fraass no Quadro 36 permite verificar que a classificação atribuída pelos fabricantes aos seus produtos, nesta propriedade está dentro de uma das classes possíveis atribuídas pelo LNEC segundo a EN 14023 (classe 10 está incluída na classe 2).

6.1.6 - Recuperação elástica a 25 °C

O enquadramento da propriedade recuperação elástica a 25 °C, em função dos resultados obtidos no estudo do LNEC e dos indicados pelos fornecedores de BMP, nas classes de requisitos da norma EN 14023 apresenta-se no Quadro 37.

Quadro 37 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Recuperação elástica a 25 °C

Produtor	Identificação BMP	Especificação	Produtor		LNEC	Classes EN 14023 LNEC
			Classes EN 14023	Lote		
CEPSA	Sty 13/60	≥ 50	-	76	76	3 a 5
CEPSA	RAF 2	≥ 75	-	90	77	3 a 5
CEPSA	Sty Newplast	≥ 30	-	55	79	3 a 5
CEPSA	Sty 15/60	≥ 70	-	89	84	2 a 5
CEPSA	Sty 13/40	≥ 40	-	82	82	2 a 5
GALP	Alto IP	≥ 60	4	-	79	3 a 5
GALP	Kerovia A6	≥ 25	1	96	92	2 a 5
GALP	Kerovia A8	≥ 25	1	86	93	2 a 5
GALP	Elastoplas	≥ 75	3	-	5	NPD/TBR
GALP	PB 1,5 (35/50) A6	≥ 60	-	--	90	2 a 5
GALP	PB 1,5 (35/50) A8	≥ 60	-	--	85	2 a 5
GALP	PB 1,5 (50/70) A6	≥ 60	4	-	90	2 a 5
GALP	PB 1,5 (50/70) A7	≥ 60	4	-	90	2 a 5
REPSOL	BM-3c	≥ 70	-	86	77	3 a 5
REPSOL	BM-3f	≥ 75	-	91	83	2 a 5
REPSOL	BM-3a	≥ 25	-	55	48	-
REPSOL	BM-2	≥ 10	-	90	82	2 a 5
REPSOL	BM-1	≥ 15 a 40 °C	-	85	82	2 a 5

A análise do enquadramento do ensaio de recuperação elástica a 25 °C no Quadro 37 permite verificar que a classificação atribuída pelos fabricantes aos seus produtos, nesta propriedade está dentro de uma das classes possíveis segundo a EN 14023 (classes 0 ou 1 e de 2 a 5).

6.1.7 - Intervalo de plasticidade

O enquadramento da propriedade Intervalo de plasticidade, em função dos resultados obtidos no estudo do LNEC e dos indicados pelos fornecedores de BMP, nas classes de requisitos da norma EN 14023 apresenta-se no Quadro 38.

Quadro 38 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Intervalo de plasticidade

Produtor	Identificação BMP	Produtor			LNEC	Classes EN 14023 LNEC
		Especificação	Classes EN 14023	Lote		
CEPSA	Sty 13/60	-	-	77,6	81,8	3 a 7
CEPSA	RAF 2	-	-	106	108	2 a 7
CEPSA	Sty Newplast	-	-	78,7	79,2	4 a 7
CEPSA	Sty 15/60	-	-	87,3	87,6	2 a 7
CEPSA	Sty 13/40	-	-	78,3	86,6	2 e 7
GALP	Alto IP	≥ 80	-	-	79,4	4 a 7
GALP	Kerovia A6	≥ 98	-	96	96	2 a 7
GALP	Kerovia A8	≥ 98	-	-	148	2 a 7
GALP	Elastoplas	≥ 100	-	-	62,6	7
GALP	PB 1,5 (35/50) A6	≥ 75	-	86	77,4	4 a 7
GALP	PB 1,5 (35/50) A8	≥ 75	-	-	96,5	2 a 7
GALP	PB 1,5 (50/70) A6	≥ 75	-	85	75,0	4 a 7
GALP	PB 1,5 (50/70) A7	≥ 75	-	-	94,8	2 a 7
REPSOL	BM-3c	-	-	84	87,8	2 a 7
REPSOL	BM-3f	-	-	114	109,0	2 a 7
REPSOL	BM-3a	-	-	76,4	83,8	3 a 7
REPSOL	BM-2	-	-	83,5	82,8	3 a 7
REPSOL	BM-1	-	-	83,6	83,0	3 a 7

A análise do enquadramento da Intervalo de plasticidade no Quadro 38 permite verificar que a classificação atribuída pelo LNEC abrange as classes 2 a 7 segundo a EN 14023.

6.1.8 - Estabilidade ao armazenamento

O enquadramento da propriedade da estabilidade ao armazenamento, em função dos resultados obtidos no estudo do LNEC e dos indicados pelos fornecedores de BMP, nas classes de requisitos da norma EN 14023 apresenta-se nos Quadros 39 e 40.

Quadro 39 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Estabilidade ao armazenamento - Diferença na penetração

Produtor	Identificação BMP	Especificação	Produtor		LNEC	Classes EN 14023 LNEC
			Classes EN 14023	Lote		
CEPSA	Sty 13/60	≤ 10	-	1	0	2 a 5
CEPSA	RAF 2	≤ 20	-	18	23	5
CEPSA	Sty Newplast	≤ 5	-	0	1	2 a 5
CEPSA	Sty 15/60	≤ 10	-	5	1	2 a 5
CEPSA	Sty 13/40	≤ 5	-	0	11	
GALP	Alto IP	≤ 10	-	-	1	2 a 5
GALP	Kerovia A6	-	-	-	1	2 a 5
GALP	Kerovia A8	-	-	-	38	NPD/TBR
GALP	Elastoplas	≤ 12	-	-	1	2 a 5
GALP	PB 1,5 (35/50) A6	≤ 8	-	-	1	2 a 5
GALP	PB 1,5 (35/50) A8	≤ 8	-	-	60	NPD/TBR
GALP	PB 1,5 (50/70) A6	≤ 10	-	-	0	2 a 5
GALP	PB 1,5 (50/70) A7	≤ 10	-	-	2	2 a 5
REPSOL	BM-3c	≤ 10	-	0,1	4	2 a 5
REPSOL	BM-3f	≤ 10	-	1	2	2 a 5
REPSOL	BM-3a	≤ 10	-	0,2	0	2 a 5
REPSOL	BM-2	≤ 8	-	0,3	2	2 a 5
REPSOL	BM-1	≤ 5	-	-	1	2 a 5

A análise do enquadramento da estabilidade ao armazenamento – diferença na penetração no Quadro 39 permite verificar que a classificação atribuída pelo LNEC segundo a EN 14023 abrange as classes 0 ou 1 e de 2 a 5.

Quadro 40 - Enquadramento nas classes da EN 14023: Estabilidade ao armazenamento - Diferença na temperatura de amolecimento

Produtor	Identificação BMP	Especificação	Produtor		LNEC	Classes EN 14023 LNEC
			Classes EN 14023	Lote		
CEPSA	Sty 13/60	≤ 5	-	0	0	2
CEPSA	RAF 2	≤ 5	-	0,1	2	2
CEPSA	Sty Newplast	≤ 5	-	0,4	0,8	2
CEPSA	Sty 15/60	≤ 5	-	1,2	0	2
CEPSA	Sty 13/40	≤ 3	-	0,1	0,6	2
GALP	Alto IP	≤ 6	-	-	1,2	2
GALP	Kerovia A6	≤ 2	-	1	0	2
GALP	Kerovia A8	-	-	-	6,0	NPD/TBR
GALP	Elastoplas	≤ 5	-	-	1,2	2
GALP	PB 1,5 (35/50) A6	≤ 5	-	1	2,5	2
GALP	PB 1,5 (35/50) A8	≤ 5	-	-	32,6	NPD/TBR
GALP	PB 1,5 (50/70) A6	≤ 5	-	1	1,2	2
GALP	PB 1,5 (50/70) A7	≤ 5	-	1	1,2	2
REPSOL	BM-3c	≤ 5	-	2	0,4	2
REPSOL	BM-3f	≤ 5	-	1,1	2,5	2
REPSOL	BM-3a	≤ 5	-	0,6	0	2
REPSOL	BM-2	≤ 5	-	0,6	0,2	2
REPSOL	BM-1	≤ 5	-	-	0,4	2

A análise do enquadramento da estabilidade ao armazenamento – diferença na temperatura de amolecimento no Quadro 40 permite verificar que a classificação atribuída pelo LNEC segundo a EN 14023 abrange as classes 0 ou 1 e de 2.

6.2 - Enquadramento na norma EN 14023 por classe de penetração

A Norma Europeia EN 14023 identifica os BMP pelos limites da classe de penetração a que pertencem e pela temperatura de amolecimento. Considerando a penetração a propriedade mais relevante, apresenta-se a seguir o quadro de especificações possíveis para BMP de acordo com aquela norma para cada classe de penetração obtida, no estudo efectuado pelo LNEC.

Nos Quadros apresentados nas secções seguintes aplica-se a seguinte legenda:



Classe não existente na EN 14023



Classe não atribuída no estudo do LNEC



Classe não especificada

6.2.1 - BMP 10/40 (Classe 2)

Nos Quadros 41 e 42 apresentam-se o Quadro de especificações possíveis para BMP 10/40 (classe de penetração 2) e um exemplo de especificação para um dos BMP estudados.

Quadro 41 - Quadro de especificações para o BMP 10/40 (Classe 2)

Propriedades		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Penetração a 25 °C, 0,1mm				10-40								
Temperatura de amolecimento, °C			TBR	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Coesão ^o	Força de ductilidade, J/cm ²	NPD	TBR	X	X	X		X				
	Varição de massa, %	NPD	TBR	X	X	X	X					
Durabilidade (resistência ao envelhecimento EN12607-1)	Penetração retida, %	NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
	Aumento da t. de amolecimento, °C	NPD	TBR	X	X	x						
Temperatura de fragilidade Fraass, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Recuperação elástica a 25 °C, %		NPD	TBR	X	X	X	X					
Intervalo de plasticidade, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
Estabilidade ao armazenamento Diferença na temperatura de amolecimento, °C		NPD	TBR	X								
Estabilidade ao armazenamento Diferença na penetração, 0,1 mm		NPD	TBR	X	X	X	X					
Recuperação elástica a 25 °C após EN 12607-1, %		NPD	TBR	X	X	X						

Quadro 42 - Exemplo de um quadro de especificação para um dos BMP 10/40 estudados

Propriedades		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Penetração a 25 °C, 0,1mm				10-40								
Temperatura de amolecimento, °C			TBR			X	X	X	X	X	X	X
Coesão ^o	Força de ductilidade, J/cm ²	NPD	TBR									
	Varição de massa, %	NPD	TBR		X	X	X					
Durabilidade (resistência ao envelhecimento EN12607-1)	Penetração retida, %	NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
	Aumento da t. amolecimento, °C	NPD	TBR	X	X	X						
Temperatura de fragilidade Fraass, °C		NPD	TBR	X	X							
Recuperação elástica a 25 °C, %		NPD	TBR		X	X	X					
Intervalo de plasticidade, °C		NPD	TBR			X	X	X	X			
Estabilidade ao armazenamento Diferença na temperatura de amolecimento, °C		NPD	TBR	X								
Estabilidade ao armazenamento Diferença na penetração, 0,1 mm		NPD	TBR	X	X	X	X					
Recuperação elástica a 25 °C após EN 12607-1, %		NPD	TBR	X	X	X						

6.2.2 - BMP 25/55 (Classe 3)

No Quadro 43 apresenta-se o Quadro de especificações possíveis para BMP 25/55 (classe de penetração 3) e no Quadro 44 exemplifica-se um quadro de especificação para um BMP estudado.

Quadro 43 - Quadro de especificações para o BMP 25/55 (Classe 3)

Propriedades		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Penetração a 25 °C, 0,1 mm					25-55							
Temperatura de amolecimento, °C			TBR	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Coesão ^e	Força de ductilidade, J/cm ²	NPD	TBR	X	X	X		X				
	Variação de massa, %	NPD	TBR	X	X	X	X					
Durabilidade (resistência ao envelhecimento EN12607-1)	Penetração retida, %	NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
	Aumento da t. de amolecimento, °C	NPD	TBR	X	X	X						
Temperatura de fragilidade Fraass, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X	X	X	
Recuperação elástica a 25 °C, %		NPD	TBR		X	X	X					
Intervalo de plasticidade, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
Estabilidade ao armazenamento Diferença na temperatura de amolecimento, °C		NPD	TBR	X								
Estabilidade ao armazenamento Diferença na penetração, 0,1 mm		NPD	TBR	X	X	X	X					
Recuperação elástica a 25 °C após EN 12607-1, %		NPD	TBR	X	X	X						

Quadro 44 - Exemplo de um quadro de especificação para um dos BMP 25/55 estudados

Propriedades		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Penetração a 25 °C, 0,1 mm					25-55							
Temperatura de amolecimento, °C			TBR	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Coesão ^e	Força de ductilidade, J/cm ²	NPD	TBR	X	X	X						
	Variação de massa, %	NPD	TBR	X	X	X	X					
Durabilidade (resistência ao envelhecimento EN12607-1)	Penetração retida, %	NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
	Aumento da t. de amolecimento, °C	NPD	TBR	X	X	X						
Temperatura de fragilidade Fraass, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X	X	X	
Recuperação elástica a 25 °C, %		NPD	TBR		X	X	X					
Intervalo de plasticidade, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
Estabilidade ao armazenamento Diferença na temperatura de amolecimento, °C		NPD	TBR	X								
Estabilidade ao armazenamento Diferença na penetração, 0,1 mm		NPD	TBR				X					
Recuperação elástica a 25 °C após EN 12607-1, %		NPD	TBR	X	X	X						

6.2.3 - BMP 45/80 (Classe 4)

No Quadros 45 apresenta-se o Quadro de especificações possíveis para BMP 45/80 (classe de penetração 4) e no Quadro 46 exemplifica-se um quadro de especificação para um BMP estudado.

Quadro 45 - Quadro de especificações para BMP 45/80 (Classe 4)

Propriedades		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Penetração a 25 °C, 0,1 mm						45-80						
Temperatura de amolecimento, °C			TBR	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Coesão ^c	Força de ductilidade, J/cm ² (tracção a baixa velocidade) ou	NPD	TBR	X	X	X		X				
Durabilidade (resistência ao envelhecimento EN12607-1)	Variação de massa, %	NPD	TBR	X	X	X	X					
	Penetração retida, %	NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
	Aumento da temperatura de amolecimento, °C	NPD	TBR	X	X	X						
Temperatura de fragilidade Fraass, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X	X	X	
Recuperação a elástica 25 °C, %		NPD	TBR	X	X	X	X					
Intervalo de plasticidade, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
Estabilidade ao armazenamento Diferença na temperatura de amolecimento, °C		NPD	TBR	X								
Estabilidade ao armazenamento Diferença na penetração, 0,1 mm		NPD	TBR	X	X	X	X					
Recuperação elástica a 25 °C após EN 12607-1, %		NPD	TBR	X	X	X						

Quadro 46 - Exemplo de um quadro de especificação para um dos BMP 45/80 estudados

Propriedades		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Penetração a 25 °C, 0,1 mm						45-80						
Temperatura de amolecimento, °C			TBR					X	X	X	X	X
Coesão ^c	Força de ductilidade, J/cm ²	NPD	TBR					X				
Durabilidade (resistência ao envelhecimento EN12607-1)	Variação de massa, %	NPD	TBR	X	X	X	X					
	Penetração retida, %	NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
	Aumento da t. de amolecimento, °C	NPD	TBR		X	X						
Temperatura de fragilidade Fraass, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X	X	X	
Recuperação elástica a 25 °C, %		NPD	TBR		X	X	X					
Intervalo de plasticidade, °C		NPD	TBR		X	X	X	X	X			
Estabilidade ao armazenamento Diferença na temperatura de amolecimento, °C		NPD	TBR	X								
Estabilidade ao armazenamento Diferença na penetração, 0,1 mm		NPD	TBR	X	X	X	X					
Recuperação elástica a 25 °C após EN 12607-1, %		NPD	TBR	X	X	X						

6.2.4 - BMP 40/100 (Classe 5)

No Quadro 47 apresenta-se o Quadro de especificações possíveis para BMP 40/100 (classe de penetração 5) e no Quadro 48 exemplifica-se um quadro de especificação para um BMP estudado.

Quadro 47 - Quadro de especificações para o BMP 40/100 (Classe 5)

Propriedades		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Penetração a 25 °C, 0,1 mm							40-100					
Temperatura de amolecimento, °C			TBR	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Coesão ^e	Força de ductilidade, J/cm ²	NPD	TBR	X	X	X		X				
	Variação de massa, %	NPD	TBR	X	X	X	X					
Durabilidade (resistência ao envelhecimento EN12607-1)	Penetração retida, %	NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
	Aumento da t. de amolecimento, °C	NPD	TBR	X	X	X						
Temperatura de fragilidade Fraass, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X	X	X	
Recuperação elástica a 25 °C, %		NPD	TBR	X	X	X	X					
Intervalo de plasticidade, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
Estabilidade ao armazenamento Diferença na temperatura de amolecimento, °C		NPD	TBR	X								
Estabilidade ao armazenamento Diferença na penetração, 0,1 mm		NPD	TBR	X	X	X	X					
Recuperação elástica a 25 °C após EN 12607-1, %		NPD	TBR	X	X	X						

Quadro 48 - Exemplo de um quadro de especificação para um dos BMP 40/100 estudados

Propriedades		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Penetração a 25 °C, 0,1 mm							40-100					
Temperatura de amolecimento, °C			TBR					X	X	X	X	X
Coesão ^e	Força de ductilidade, J/cm ²	NPD	TBR					X				
	Variação de massa, %	NPD	TBR	X	X	X	X					
Durabilidade (resistência ao envelhecimento EN12607-1)	Penetração retida, %	NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
	Aumento da t. amolecimento, °C	NPD	TBR	X	X	X						
Temperatura de fragilidade Fraass, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X	X	X	
Recuperação elástica a 25 °C, %		NPD	TBR		X	X	X					
Intervalo de plasticidade, °C		NPD	TBR		X	X	X	X	X			
Estabilidade ao armazenamento Diferença na temperatura de amolecimento, °C		NPD	TBR	X								
Estabilidade ao armazenamento Diferença na penetração, 0,1 mm		NPD	TBR	X	X	X	X					
Recuperação elástica a 25 °C após EN 12607-1, %		NPD	TBR	X	X	X						

6.2.5 - BMP 65/105 (Classe 6)

No Quadro 49 apresenta-se o Quadro de especificações possíveis para BMP 65/105 (classe de penetração 6) e no Quadro 50 exemplifica-se um quadro de especificação para um BMP estudado.

Quadro 49 - Quadro 48 - BMP 65/105 (Classe 6)

Propriedades		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Penetração a 25 °C, 0,1 mm								65-105				
Temperatura de amolecimento, °C			TBR	///	///	///	X	X	X	X	X	X
Coesão ^e	Força de ductilidade, J/cm ²	NPD	TBR	X	X	X	///	///				
	Varição de massa, %	NPD	TBR	X	X	X	X					
Durabilidade (resistência ao envelhecimento EN12607-1)	Penetração retida, %	NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
	Aumento da t. de amolecimento, °C	NPD	TBR									
Temperatura de fragilidade Fraass, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X	///	///	///
Recuperação elástica a 25 °C, %		NPD	TBR	///	///	///	///					
Intervalo de plasticidade, °C		NPD	TBR	///	X	X	X	X	X			
Estabilidade ao armazenamento Diferença na temperatura de amolecimento, °C		NPD	TBR	X								
Estabilidade ao armazenamento Diferença na penetração, 0,1 mm		NPD	TBR	X	X	X	X					
Recuperação elástica a 25 °C após EN 12607-1, %		NPD	TBR	X	X	X						

Quadro 50 - Exemplo de um quadro de especificação para um dos BMP 65/105 estudados

Propriedades		0	0	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Penetração a 25 °C, 0,1 mm								65-105				
Temperatura de amolecimento, °C			TBR								X	X
Coesão ^e	Força de ductilidade, J/cm ²	NPD	TBR									
	Varição de massa, %	NPD	TBR	X	X	X	X					
Durabilidade (resistência ao envelhecimento EN12607-1)	Penetração retida, %	NPD	TBR	X								
	Aumento da t. de amolecimento, °C	NPD	TBR									
Temperatura de fragilidade Fraass, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
Recuperação elástica a 25 °C, %		NPD	TBR									
Intervalo de plasticidade, °C		NPD	TBR						X			
Estabilidade ao armazenamento Diferença na temperatura de amolecimento, °C		NPD	TBR	X								
Estabilidade ao armazenamento Diferença na penetração, 0,1 mm		NPD	TBR	X	X	X	X					
Recuperação elástica a 25 °C após EN 12607-1, %		NPD	TBR	X	X	X						

6.3 - Quadro de especificações

No Quadro 51 apresenta-se o Quadro de especificações possíveis para os BMP comercializados em Portugal e estudados pelo LNEC.

Quadro 51 - Quadro de especificações para BMP

Propriedades		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Penetração a 25 °C, 0,1 mm			TBR	X	X	X	X	X				
Temperatura de amolecimento, °C			TBR	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Coesão ^c	Força de ductilidade, J/cm ²	NPD	TBR	X	X	X		X				
Durabilidade (resistência ao envelhecimento EN12607-1)	Variação de massa, %	NPD	TBR	X	X	X	X					
	Penetração retida, %	NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
	Aumento da t. de amolecimento, °C	NPD	TBR	X	X	X	X					
Temperatura de fragilidade Fraass, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Recuperação elástica a 25 °C, %		NPD	TBR	X	X	X	X					
Intervalo de plasticidade, °C		NPD	TBR	X	X	X	X	X	X			
Estabilidade ao armazenamento Diferença na temperatura de amolecimento, °C		NPD	TBR	X								
Estabilidade ao armazenamento Diferença na penetração, 0,1 mm		NPD	TBR	X	X	X	X					
Recuperação elástica a 25 °C após EN 12607-1, %		NPD	TBR	X	X	X						

7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do estudo realizado com vista ao enquadramento dos betumes modificados com polímeros comercializados em Portugal na norma EN 14023 podem tirar-se as seguintes ilações:

- A colheita de amostra é um factor importante para se obterem valores credíveis.
- A preparação da amostra deve ser bem definida pelo produtor do produto, ou acordada entre o produtor e o laboratório de ensaios, a fim de se poderem comparar os resultados obtidos por ambas as partes.
- É possível aplicar as metodologias de avaliação indicadas na norma EN 14023 às propriedades seleccionadas.
- Dada a natureza dos betumes modificados com polímeros, os métodos seleccionados, incluindo os novos métodos, permitem obter resultados que podem considerar-se reprodutíveis.
- Existem no mercado nacional betumes modificados com polímeros satisfazendo:
 - as classes de penetração 2, 3, 4, 5 e 6 da norma EN 14023;
 - todas as classes de requisitos para a temperatura de amolecimento (método do anel e bola;
 - todas as classes de requisitos para as outras propriedades seleccionadas com excepção da coesão em que não existem valores para a classe 5;
- Os betumes modificados com polímeros comercializados em Portugal podem ser enquadrados por especificações definidas no quadro das especificações da norma EN 14023.
- Assim, é possível escolher a especificação mais adequada para cada tipo de utilização.

Finalmente no Quadro 52 dá-se um exemplo de uma possível especificação para um betume modificado com polímero, BMP25/55-65.

Quadro 52 - Especificação para um BMP 25/55

Requisitos	Características	Método de ensaio	Unidades	Classe
Consistência a temperaturas de serviço intermédias	Penetração a 25 °C	EN 1426	0,1 mm	25-55 Classe 1
Consistência a temperaturas de serviço elevadas	Temperatura de amolecimento	EN 1427	°C	≥ 65 Classe 5
Coesão	Força de ductilidade (tracção a baixa velocidade) ou	EN 13589 / EN 13703	J/cm ²	≥ 2 (5 °C) Classe 3
	Ensaio de tracção a 5 °C (alta velocidade) ou	EN 13587 / EN 13703	J/cm ²	-
	Pêndulo Vialit (ensaio de impacto)	EN 13588	J/cm ²	-
Durabilidade (Resistência ao envelhecimento EN 12607-1 ou -3)	Variação de massa		%	≥ 0,5 Classe 3
	Penetração retida	EN 1426	%	≥ 55 Classe 6
	Aumento da temperatura de amolecimento	EN 1427	°C	≤ 8 Classe 2
Outras características não regulamentadas	Temperatura de inflamação	EN ISO 2592	°C	≥ 235 Classe 3
	Temperatura Fraass	EN 12593	°C	≤ 10 Classe 5
	Recuperação elástica 25 °C	EN 13398	%	≥ 50 Classe 5
	Recuperação elástica 10 °C	EN 13398	%	NPD Classe 0
	Intervalo de plasticidade	Ver 5.1.9 da EN 14023	°C	TBR Classe 1
	Estabilidade armazenamento Diferença na temperatura de amolecimento	EN 13399 EN 1427	°C	≤ 5 Classe 2
	Estabilidade armazenamento Diferença na penetração	EN 13399 EN 1426	0,1 mm	≤ 13 Classe 3
	Queda na temperatura de amolecimento após EN 12607-1/ -3	EN 1427	°C	≥ 5 Classe 3
	Recuperação elástica 25 °C após EN 12607-1	EN 13398	%	≥ 50 Classe 4
	Recuperação elástica 10 °C após EN 12607-1	EN 13398	%	NPD Classe 0

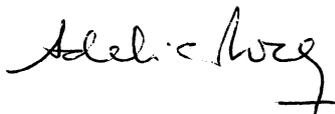
Colaboraram na planificação do estudo a Assistente de Investigação Margarida Sá da Costa Guimarães e na parte experimental as técnicas Elisete Ferreira e Catarina Marques

A EP, S.A. e o LNEC, I.P. agradecem a colaboração dos produtores de ligantes betuminosos, CEPESA, GALP e REPSOL, que ofereceram as amostras de BMP que possibilitaram a realização deste estudo.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P., Abril de 2008

VISTO

A Directora do Departamento de Materiais

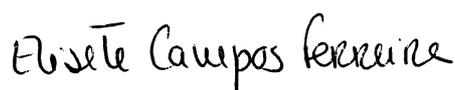


Adélia Rocha
Investigadora Coordenadora

AUTORIA



M. Isabel Eusébio
Investigadora Coordenadora
Chefe do Núcleo de Materiais Orgânicos



Elisete C. Ferreira
Técnica de 2ª

BIBLIOGRAFIA

- Guimarães M. Sá da Costa – *Ligantes betuminosos para pavimentos rodoviários, influência do copolímeros de estireno-butadiene-estireno (SBS) no envelhecimento de betumes*, LNEC, Junho de 2002.
- EN 14023, *Bitumen and bituminous binders – Framework Specification for polymer modified bitumens*
- EN 12597:2000, *Bitumen and bituminous binders – Terminology*
- EN 58, *Bitumen and bituminous binders – Sampling bituminous binders.*
- EN 1426, *Bitumen and bituminous binders – Determination of needle penetration.*
- EN 1427, *Bitumen and bituminous binders – Determination of softening point – Ring and Ball method.*
- EN 12593, *Bitumen and bituminous binders – Determination of the Fraass breaking point.*
- EN 12594, *Bitumen and bituminous binders – Preparation of test samples.*
- EN 12596, *Bitumen and bituminous binders – Determination of dynamic viscosity by vacuum capillary.*
- EN 12607-1, *Bitumen and bituminous binders – Determination of the resistance to hardening under the influence of heat and air – Part 1: RTFOT method.*
- EN 12607-3, *Bitumen and bituminous binders – Determination of the resistance to hardening under the influence of heat and air – Part 3: RFT method.*
- EN 13398, *Bitumen and bituminous binders – Determination of elastic recovery of modified bitumen.*
- EN 13399, *Bitumen and bituminous binders – Determination of storage stability of modified bitumen.*
- EN 13587, *Bitumen and bituminous binders – Determination of the tensile properties of bituminous binders by the tensile test method.*
- EN 13588, *Bitumen and bituminous binders – Determination of cohesion of bituminous binders with pendulum test.*
- EN 13589, *Bitumen and bituminous binders – Determination of the tensile properties of modified bitumen by the force ductility method.*
- NLT 185/99 - *Efecto del calor y del aire sobre los materiales bituminosos en película fina*

