



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES  
Núcleo de Infra-estruturas Rodoviárias  
e Aeroportuárias

Proc. 0702/1/17243

## **ENSAIOS DE COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL PARA AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE À ÁGUA DE MISTURAS BETUMINOSAS COMPACTADAS**

InIR – Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias, I. P.

Lisboa • Junho de 2009

**I&D** TRANSPORTES

**RELATÓRIO 181/2009 – NIRA/DT**



## **ENSAIOS DE COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL PARA AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE À ÁGUA DE MISTURAS BETUMINOSAS COMPACTADAS**

### **SUMÁRIO**

---

Este relatório refere-se a um estudo para avaliação da sensibilidade à água de misturas betuminosas compactadas, aplicando a Norma Europeia EN 12697-12, no âmbito de um protocolo de cooperação celebrado entre o LNEC e o INIR. Os principais objectivos do estudo são a obtenção de valores de referência para a sensibilidade à água de misturas com características diferentes, a avaliação da reprodutibilidade dos resultados obtidos através da aplicação da norma EN 12697-12 e a elaboração de recomendações relativas ao uso dessa norma.

Os trabalhos realizados compreendem a realização de ensaios de comparação interlaboratorial envolvendo diferentes laboratórios, a análise dos resultados obtidos.

Neste relatório descreve-se a metodologia adoptada no estudo, e apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos para uma mistura betuminosa drenante, utilizando betume modificado com polímero.

### **ROUND ROBIN TESTS FOR THE EVALUATION OF WATER SENSITIVITY OF COMPACTED ASPHALT SPECIMENS**

### **ABSTRACT**

---

This report refers to a study developed under a cooperation agreement between INIR and LNEC, concerning the evaluation of water sensitivity of compacted asphalt mixtures, using a test method described in the European standard EN 12697-12. The main objectives of the study are the establishment of reference values for water sensitivity of different asphalt mixtures used in Portugal, the evaluation of the reproducibility associated with the application of the EN 12697-12 test method and the development of recommendations for the application of this method.

The study comprises the execution of round robin tests involving different laboratories, as well as the analysis of the results obtained.

This report describes the methodology adopted in the study and presents and discusses the results obtained for a porous asphalt mixture.



**ENSAIOS DE COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL PARA AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE À  
ÁGUA DE MISTURAS BETUMINOSAS COMPACTADAS**

**ÍNDICE GERAL**

<b>1  </b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2  </b>	<b>PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Metodologia .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>Descrição dos métodos de ensaio utilizados .....</b>	<b>3</b>
2.2.1	Método de ensaio preconizado na norma EN 12697-12 .....	4
2.2.2	Método de ensaio preconizado na norma MIL - STD – 620A – método 104 .....	5
<b>2.3</b>	<b>Programa de trabalhos .....</b>	<b>6</b>
2.3.1	Misturas betuminosas estudadas .....	6
2.3.2	Preparação dos provetes e execução dos ensaios .....	6
<b>2.4</b>	<b>Folhas de registo de ensaio .....</b>	<b>7</b>
<b>3  </b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA SENSIBILIDADE À ÁGUA DE MISTURAS BETUMINOSAS .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Mistura PA1 .....</b>	<b>9</b>
3.1.1	Ensaio realizados .....	9
3.1.2	Composição da mistura e características dos seus constituintes .....	9
3.1.3	Apresentação dos resultados .....	12
<b>3.2</b>	<b>Outras misturas .....</b>	<b>14</b>
<b>4  </b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>15</b>
<b>5  </b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>18</b>

**ENSAIOS DE COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL PARA AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE À  
ÁGUA DE MISTURAS BETUMINOSAS COMPACTADAS**

**ÍNDICE DE QUADROS**

<b>Quadro 1 - Laboratórios intervenientes no estudo de comparação interlaboratorial .....</b>	<b>3</b>
<b>Quadro 2 - Misturas betuminosas seleccionadas para o estudo.....</b>	<b>6</b>
<b>Quadro 3 - Laboratórios responsáveis pela preparação dos provetes e realização dos ensaios .....</b>	<b>7</b>
<b>Quadro 4 - Composição granulométrica da mistura PA1 .....</b>	<b>10</b>
<b>Quadro 5 – Resultados do ensaio de sensibilidade à água (norma MIL-STD-620A – método 104).....</b>	<b>12</b>
<b>Quadro 6 – Resultados do ensaio de sensibilidade à água (EN 12697-12 – método A), a 15°C .....</b>	<b>13</b>
<b>Quadro 7 – Resultados do ensaio de sensibilidade à água (EN 12697-12 – método A), a 25°C .....</b>	<b>14</b>

**ÍNDICE DE FÍGURAS**

<b>Figura 1 – Folha de Registo de Ensaios para apresentação dos resultados obtidos .....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 2 – Granulometria dos agregados e filer da mistura de agregados e fuso granulométrico.....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 3 - Resultados dos ensaios obtidos para a mistura PA1 .....</b>	<b>15</b>

A resistência das misturas betuminosas à acção da água é uma importante característica directamente relacionada com o desempenho e a durabilidade deste tipo de materiais durante a vida útil dos pavimentos rodoviários e aeroportuários. Por esta razão, os cadernos de encargos de obras de pavimentação incluem habitualmente disposições relativas à sensibilidade à água das misturas betuminosas, geralmente avaliada através da perda de resistência mecânica das misturas após condicionamento em água.

Com o aparecimento da norma europeia EN 12697-12 [1], torna-se necessário alterar os procedimentos de avaliação da sensibilidade à água de misturas betuminosas, verificando-se que existem diferenças significativas entre o método de ensaio preconizado na norma MIL - STD – 620A [2], anteriormente utilizada em Portugal [3], e na norma EN 12697-12.

Tendo em vista contribuir para a resolução de algumas das dificuldades sentidas no meio técnico Nacional com a aplicação da norma Europeia EN 12697-12 e com o estabelecimento de critérios adequados para avaliação da sensibilidade à água das misturas betuminosas, o InIR solicitou ao LNEC a realização de um estudo para avaliação da sensibilidade à água de misturas betuminosas compactadas, aplicando aquela Norma Europeia.

Este estudo pro-normativo, compreende a realização de ensaios de comparação interlaboratorial envolvendo diferentes laboratórios, a análise dos resultados obtidos e a sua comparação com resultados obtidos através da metodologia anteriormente prescrita na generalidade dos Cadernos de Encargos de obras de pavimentação (norma militar Americana MIL-STD-620A – método 104), e tem como principais objectivos os seguintes:

- a obtenção de valores de referência para a sensibilidade à água de misturas com características diferentes;
- a avaliação da reprodutibilidade dos resultados obtidos com a norma EN 12697-12.

Neste relatório descreve-se a metodologia adoptada no estudo, e apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos para uma mistura betuminosa drenante, utilizando betume modificado com polímero. Por motivos relacionados com dificuldades de obtenção de materiais adequados para ensaio, encontra-se ainda em curso a realização de ensaios sobre outros tipos de misturas, cujos resultados serão apresentados num relatório final.

### 2.1 Metodologia

O programa experimental estabelecido para a concretização dos objectivos formulados na secção anterior compreende o estudo de diversos tipos de misturas betuminosas, fabricadas com agregados e betumes diferentes.

No plano de trabalhos inicialmente acordado entre o LNEC e o INIR previa-se a realização de ensaios de comparação interlaboratorial utilizando a norma EN 12697-12 [1], envolvendo 3 laboratórios (incluindo o próprio LNEC), a análise dos respectivos resultados e a sua comparação com resultados obtidos através da metodologia anteriormente utilizada em Portugal (norma Americana MIL - STD – 620 A) [2].

De forma a obter valores de referência considerou-se necessário que os ensaios contemplassem dois tipos de betumes (de penetração nominal diferente), dois tipos de agregados (com valores de absorção de água diferentes) e dois tipos de misturas betuminosas (com porosidades diferentes). Uma vez que as misturas betuminosas aplicadas em camadas de desgaste são aquelas que estão mais directamente sujeitas à acção da água, optou-se por estudar misturas do tipo betão betuminoso para camada de desgaste (AC 14, de acordo com a terminologia preconizada na norma EN 13108-1 [4]) e misturas do tipo betão betuminoso drenante (PA 14, de acordo com a terminologia preconizada na norma EN 13108-7 [5]).

As principais actividades estabelecidas no plano de trabalhos acordado entre o LNEC e o INIR foram as seguintes:

- Trabalhos preparatórios, incluindo a selecção dos laboratórios a participar nos ensaios de comparação interlaboratorial e a selecção das misturas a ensaiar.
- Preparação dos provetes para ensaio e da ficha de apresentação dos resultados, e sua distribuição pelos laboratórios envolvidos.
- Realização dos ensaios de avaliação da sensibilidade à água pela EN 12697-12.
- Análise dos resultados obtidos nos ensaios de comparação interlaboratorial, bem como de eventuais dificuldades havidas no decorrer da sua realização.
- Elaboração de relatório final contendo todos os resultados obtidos e a sua análise, bem como recomendações acerca da aplicabilidade da norma de ensaio EN 12697-12.



Após o estabelecimento de contactos com outros laboratórios, no seio da Comissão Técnica CT 129 – “Materiais para Pavimentação”, foram envolvidos 5 laboratórios no estudo de comparação interlaboratorial, que se identificam no Quadro 1.

**Quadro 1 - Laboratórios intervenientes no estudo de comparação interlaboratorial**

L1	LNEC – Laboratório de Ensaios de Materiais para Pavimentação (PAVMAT)
L2	CICCOPN – Laboratório LGMC
L3	Construções Gabriel A. S. Couto S.A.
L4	Mota-Engil – Laboratório Central
L5	Monte Adriano Engenharia e Construção – Laboratório Central

Verifica-se, assim, que o número de laboratórios que demonstraram interesse em participar no estudo é superior ao previsto, o que acarretou um maior volume de trabalhos, quer na preparação dos provetes, quer na análise de resultados. No entanto, a participação de um maior número de entidades constitui uma mais valia significativa na avaliação da reprodutibilidade do método de ensaio.

## **2.2 Descrição dos métodos de ensaio utilizados**

De uma forma geral, a avaliação da sensibilidade à água de misturas betuminosas é efectuada com recurso a ensaios de resistência mecânica realizados sobre dois grupos de provetes de misturas betuminosas com características idênticas, que são previamente acondicionados em condições distintas, sendo um dos grupos acondicionado em condições mais severas, do ponto de vista da acção da água. O quociente entre a resistência média dos provetes desse grupo e a resistência média dos provetes acondicionados em condições menos severas, fornece uma “resistência conservada”, que é utilizada como indicador da sensibilidade à água [6].

O método de avaliação da sensibilidade à água de misturas betuminosas preconizado no método A da EN 12697-12 assenta na comparação entre os valores médios das resistências à tracção em compressão diametral, determinadas de acordo com a norma EN 12697-23 [7], de dois grupos de provetes cilíndricos previamente acondicionados em condições distintas, conforme se descreve seguidamente.

### 2.2.1 Método de ensaio preconizado na norma EN 12697-12

A primeira edição de norma EN 12697-12, de 2003; apenas preconizava um método para avaliação da sensibilidade à água, baseado na resistência à tracção indirecta de provetes cilíndricos (método A da última edição –de 2008 - da EN 12697-12), pelo que, em Portugal, os primeiros estudos foram realizados de acordo com este método.

Com a nova edição da norma, de 2008, estão disponíveis mais dois métodos de ensaio (B e C), apesar de o terceiro (método C) não ser aplicável ao caso geral das misturas produzidas em Portugal.

O método B, preconizado na edição em vigor da norma EN 12697-12, de 2008, baseia-se na resistência à compressão simples de provetes cilíndricos.

Verifica-se que, ao nível europeu, de entre os métodos estabelecidos na EN 12697-12:2008, aquele que de forma geral tem sido mais utilizado, é o método A. Dá-se como exemplo, a vizinha Espanha, onde o Caderno de Encargos tipo preconiza valores limite para as misturas betuminosas de acordo com este método [8].

Neste contexto, os estudos foram realizados de acordo com o método A da EN 12697-12:2008.

De acordo com este método, são preparados um total de pelo menos 6 provetes cilíndricos (3 para cada grupo), sendo as dimensões dos provetes condicionadas pela dimensão máxima do agregado. Para misturas com agregados de dimensão máxima inferior ou igual a 22 mm, podem utilizar-se provetes de  $(100 \pm 3)$  mm de diâmetro, ou seja, provetes semelhantes aos que eram tradicionalmente utilizados no método de ensaio realizado segundo a norma MIL - STD – 620 A, compactados pelo compactador de impacto, de acordo com a norma EN 12697-30 [9]. Os provetes são separados em 2 grupos com características idênticas (altura e baridade média), sendo estabelecidas diferenças máximas de 5 mm para os comprimentos médios e de  $15 \text{ kg/m}^3$  para as baridades médias. É ainda referido que os provetes devem ter todos a mesma idade (devem ser todos moldados na mesma semana), e que devem ter um período de cura antes do período de condicionamento de 16 h a 24 h.

O primeiro grupo de provetes é acondicionado ao ar a  $(20 \pm 5)$  °C.

O segundo grupo é primeiramente submetido a vácuo em água a  $(20 \pm 5)$  °C e mantido durante  $(30 \pm 5)$  min. a uma pressão absoluta de  $(6,7 \pm 0,3)$  kPa, por forma a garantir que a água penetra de forma adequada nos poros dos provetes. Seguidamente, os provetes do segundo grupo são acondicionado em banho de água a  $(40 \pm 1)$  °C, por um período de 68 h a 72 h.

Uma vez concluído o período de condicionamento, os provetes são sujeitos a ensaios para determinar a resistência à tracção indirecta, a uma temperatura de ensaio seleccionada na gama de 5°C a 25°C. A norma EN 12697-12 inclui uma nota onde recomenda que seja adoptada uma temperatura de ensaio de 25°C, para se obter influência máxima da adesividade do ligante e para minimizar a influência dos agregados partidos na linha de rotura do provete. Observa-se, no entanto, que a norma EN 13108-20 [10], preconiza uma temperatura de 15°C para efeitos de ensaios tipo iniciais de misturas betuminosas abrangidas pela marcação CE.

A partir dos valores médios das resistências à tracção indirecta dos provetes imersos (ITS<sub>w</sub>) e “a seco” (ITS<sub>d</sub>) a determinada temperatura, é calculada a resistência conservada em tracção indirecta (ITSR) através da fórmula:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_w}{ITS_d} \quad (\%)$$

## 2.2.2 Método de ensaio preconizado na norma MIL - STD – 620A – método 104

O método de avaliação da sensibilidade à água que era tradicionalmente usado em Portugal, baseado no método 104 da norma americana MIL – STD – 620A e no Cahier RILEM 17 BM nº3 [3], assenta na comparação entre forças de rotura Marshall de dois grupos de provetes acondicionados de forma distinta.

Neste caso, são fabricados 8 provetes cilíndricos de 101,6 mm de diâmetro e aproximadamente 63,5 mm de altura (provetes *Marshall*). Estes provetes são subdivididos em dois grupos com aproximadamente a mesma baridade média.

O primeiro grupo de provetes é imerso em água a 60°C durante 30 minutos (20 a 40 minutos de acordo com o método 100 da norma militar [11]), sendo posteriormente determinada a força de rotura de cada provete através do ensaio Marshall e calculado o respectivo valor médio (F<sub>1</sub>).

O segundo grupo é acondicionado durante 24 horas num banho de água a 60°C, após o que é determinado o valor médio das respectivas formas de rotura Marshall (F<sub>2</sub>).

Com base nos resultados obtidos para as forças de rotura médias, calcula-se o Índice de Resistência Conservada (IRC) através da fórmula:

$$IRC_{Marshall} = \frac{F_2}{F_1} \times 100 \quad (\%)$$

## 2.3 Programa de trabalhos

### 2.3.1 Misturas betuminosas estudadas

Conforme referido anteriormente, pretende-se que o programa experimental inclua ensaios sobre misturas betuminosas para camadas de desgaste com porosidades distintas, com dois tipos de agregados e com betumes de diferentes penetrações. A selecção dos materiais a estudar, por forma a satisfazer estes critérios, revestiu-se de algumas dificuldades relacionadas com a disponibilidade de materiais provenientes de obras em curso.

Após contactos com diversos produtores de misturas betuminosas, seleccionaram-se as misturas betuminosas apresentadas no Quadro 2 para a realização do presente estudo.

Quadro 2 - Misturas betuminosas seleccionadas para o estudo

Tipo de mistura	Tipo de agregado	Tipo de betume	Designação
Betão betuminoso (AC 14 surf)	Granito	50/70	AC14 G1
		35/50	AC14 G2
	Basalto	35/50	AC14 B1
		50/70	AC14 B2
Betão betuminoso drenante (PA 14 surf)	Granito	Modificado	PA 1
	Seixo britado	Modificado	PA 2

### 2.3.2 Preparação dos provetes e execução dos ensaios

Uma vez que um dos principais objectivos dos presentes ensaios de comparação interlaboratorial é a avaliação da reprodutibilidade dos resultados obtidos com a norma EN 12697-12:2008, considerou-se que deveria ser o mesmo laboratório (L1) a moldar e preparar os provetes a serem distribuídos aos restantes laboratórios, por forma a minimizar a variabilidade dos provetes a serem ensaiados.

Para além dos ensaios já programados, considerou-se oportuno complementar o estudo com a realização de mais dois ensaios por dois laboratórios - o LNEC (L1) e o CICCOPN (L2) – em que o ensaio incluiria a moldagem dos provetes por cada uma dos laboratórios, com o mesmo tipo de materiais. No Quadro 3 resumem-se as actividades a realizar por cada um dos laboratórios participantes tendo em vista a preparação dos provetes e a execução dos ensaios.

Quadro 3 - Laboratórios responsáveis pela preparação dos provetes e realização dos ensaios

Identificação da mistura	Fabrico dos provetes	Método de ensaio	
		MIL-STD-620A – método 104	EN 12697-12 – método A
AC14 G1	L2	L1	L1, L2, L3, L4, L5
	L2 (com mistura produzida em central)	-	L1
	L1	-	L1
AC14 G2	L1	L1	L1
AC14 B1	L1	L1	L1, L2, L3, L4, L5
	L2	-	L2
AC14 B2	L1	L1	L1
PA 1	L1	L1	L1*, L2, L3, L4, L5
PA 2	L1	L1	L1

\* Ensaio a 15°C e também a 25°C

Tal com referido anteriormente, a norma EN 12697-12 permite que a determinação da resistência à tracção indirecta seja feita a uma temperatura de ensaio que pode ir desde 5°C até 25°C, recomendando que os ensaios sejam efectuados a 25°C por forma a maximizar o efeito do betume e a minimizar o efeito dos agregados partidos. No entanto, a norma relativa aos ensaios tipo iniciais para marcação CE de misturas betuminosas (EN 13108-20), preconiza uma temperatura de 15°C para esse efeito. Neste contexto, considerou-se que os ensaios de comparação interlaboratorial deveriam ser efectuados a 15°C, e quando considerado oportuno/viável face à quantidade de material disponível, o laboratório L1 procederia também ao ensaio segundo o mesmo método de ensaio (EN 12697-12:2008 – método A), mas à temperatura de 25°C, para além de proceder ao ensaio segundo a metodologia anteriormente utilizada em Portugal.

## 2.4 Folhas de registo de ensaio

Por forma a uniformizar a apresentação dos resultados obtidos nos ensaios de comparação interlaboratorial, foi preparada pelo LNEC, uma Folha de Registo de Ensaio (FRE), que foi previamente distribuída a cada laboratório participante (Figura 1).

Protocolo InIR - LNEC						
ENSAIOS DE COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL PARA AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE À ÁGUA DE MISTURAS BETUMINOSAS COMPACTADAS						
EN 12697-12:2008 - Determinação da sensibilidade à água de provetes betuminosos						
Método A - Resistência à tracção indirecta						
LABORATÓRIO:						
Identificação da Mistura Betuminosa:						
<b>Moldagem dos provetes</b>						
Laboratório:						
Data:						
<b>Recepção dos provetes</b>						
Data:						
Identificação dos provetes:						
<b>Determinação da sensibilidade à água de provetes betuminosos</b>						
Data de início do ensaio:						
Grupos: <span style="float: right;">Provetes "a seco" <span style="margin-left: 100px;">Provetes "imersos"</span></span>						
Identificação dos Provetes:						
<b>Características iniciais dos provetes</b>						
$m_i$	Massa do provete seco (arredondamento a 0,1g)	(g)				
$\Phi_i$	Diâmetro do provete	(mm)				
$\Phi$	Diâmetro médio (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)				
$h_i$	Altura do provete	(mm)				
$h$	Altura média (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)				
$\Delta h$	Diferença entre a altura média dos dois grupos de provetes (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)				$\Delta h \leq 5 \text{ mm}$
$v_i$	Volume do provete	(cm <sup>3</sup> )				
$\rho_{b,dim i}$	Baridade "geométrica" do provete (arredondamento a 1kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )				
$\rho_{b,dim}$	Baridade "geométrica" média	(kg/m <sup>3</sup> )				
$\Delta \rho_{b,dim}$	Diferença entre a baridade "geométrica" média dos dois grupos de provetes	(kg/m <sup>3</sup> )				$\Delta \rho \leq 15 \text{ kg/m}^3$
$\rho_{b,SSD i}$	Baridade "imersa" (SSD) do provete (arredondamento a 1kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )				
$\rho_{b,SSD}$	Baridade "imersa" (SSD) média	(kg/m <sup>3</sup> )				
$\Delta \rho_{b,SSD}$	Diferença entre a baridade "imersa" (SSD) média dos dois grupos de provetes	(kg/m <sup>3</sup> )				$\Delta \rho \leq 15 \text{ kg/m}^3$
<b>Características dos provetes depois do vácuo</b>						
$\Phi_f$	Diâmetro do provete	(mm)	-	-	-	
$h_f$	Altura do provete	(mm)	-	-	-	
$v_f$	Volume do provete	(cm <sup>3</sup> )	-	-	-	
$\Delta v$	Aumento de volume dos provetes, após o vácuo	(%)	-	-	-	$\Delta v \leq 2\%$
<b>Ensaio de tracção indirecta EN 12697-23:2003</b>						
Tempo de condicionamento (h)						
Temperatura de ensaio (°C)						
$P_i$	Resistência máxima	(kN)				
$P$	Resistência máxima média	(kN)				
$ITS_i$	Tracção indirecta	(GPa)				
$ITS_d$ e $ITS_w$	Tracção indirecta média (arredondamento até 3 algarismos significativos)	(GPa) (kPa)				
$ITSR$	Resistência conservada em tracção indirecta	(%)				
<b>Observação dos provetes após rotura à tracção indirecta</b>						
Tipo de rotura (tracção indirecta evidente, por deformação, combinada)						
Revestimento de ligante na superfície do agregado exposto						
Presença de agregado fracturado ou esmagado						
Observações :						

Figura 1 – Folha de Registro de Ensaios para apresentação dos resultados obtidos

## 3 | CARACTERIZAÇÃO DA SENSIBILIDADE À ÁGUA DE MISTURAS BETUMINOSAS

---

### 3.1 Mistura PA1

#### 3.1.1 Ensaio realizados

Para o estudo da mistura PA1, o L1 preparou 6 provetes de ensaio para cada um dos laboratórios, para realizarem o ensaio de acordo com o método A da norma EN 12697-12:2008 a 15°C (no ensaio de tracção indirecta), 6 provetes para ensaiar segundo o referido método, mas a 25°C, e 8 provetes para ensaiar segundo o método 104 da norma MIL-STD-620A.

Por forma a manter a confidencialidade dos resultados obtidos por cada laboratório participante, foi atribuído, para este efeito, um código a cada um dos participantes: PA1-1 a PA1-5.

#### 3.1.2 Composição da mistura e características dos seus constituintes

Os materiais utilizados no fabrico desta mistura foram disponibilizados pela firma Construções Gabriel A. S. Couto S.A. (L3), que foram entregues ao LNEC (L1), para que este laboratório preparasse os provetes de ensaio de acordo com o programa de trabalhos estabelecido.

Os materiais utilizados no fabrico deste betão betuminosos drenante (PA1) foram os seguintes:

- Mistura de agregados e filler constituída por fracção 10/14, fracção 5/10 e fracção 0/5 provenientes da Pedreira da Agrepor e 4% de cal hidráulica da Cimpor, e com máxima dimensão do agregado de 14 mm.
- Betume modificado do tipo PMB 45/80-55 da CEPESA, com designação comercial “Styrelf® 13/60”.

Esta mistura betuminosa drenante, com características de camada de desgaste, apresenta, de acordo com a norma EN 13108-7, a designação de PA 14 surf PMB 45/80-55.

A composição adoptada para a mistura de agregados foi a seguinte:

- Fracção 10/14: .....42%
- Fracção 5/10: .....42%
- Fracção 0/5 peneirada a seco no peneiro de 0,063mm ..... 12%
- Cal hidráulica:.....4%

No Quadro 4 e na Figura 2 apresenta-se a curva granulométrica dos agregados e filer utilizados no fabrico da mistura de agregados, bem como a respectiva granulometria final.

**Quadro 4 - Composição granulométrica da mistura PA1**

Dimensão da abertura dos peneiros (Série base mais a série 2) (mm)	Percentagem acumulada de material que passa (%)				
	Fracção 10/14	Fracção 5/10	Fracção 0/5 peneirada a seco no peneiro de 0,063mm	Cal hidráulica	Mistura de agregados
16	100	100	100	100	100
14	92	100	100	100	97
12,5	67	100	100	100	86
10	16	94	100	100	62
8	5	66	100	100	46
6,3	4	32	100	100	31
4	3	7	89	100	19
2	3	4	72	100	15
1	2	2	50	100	12
0,500	2	2	29	100	9
0,250	1	1	15	98	7
0,125	1	1	6	91	5
0,063	0,8	0,9	1,7	72,5	3,8



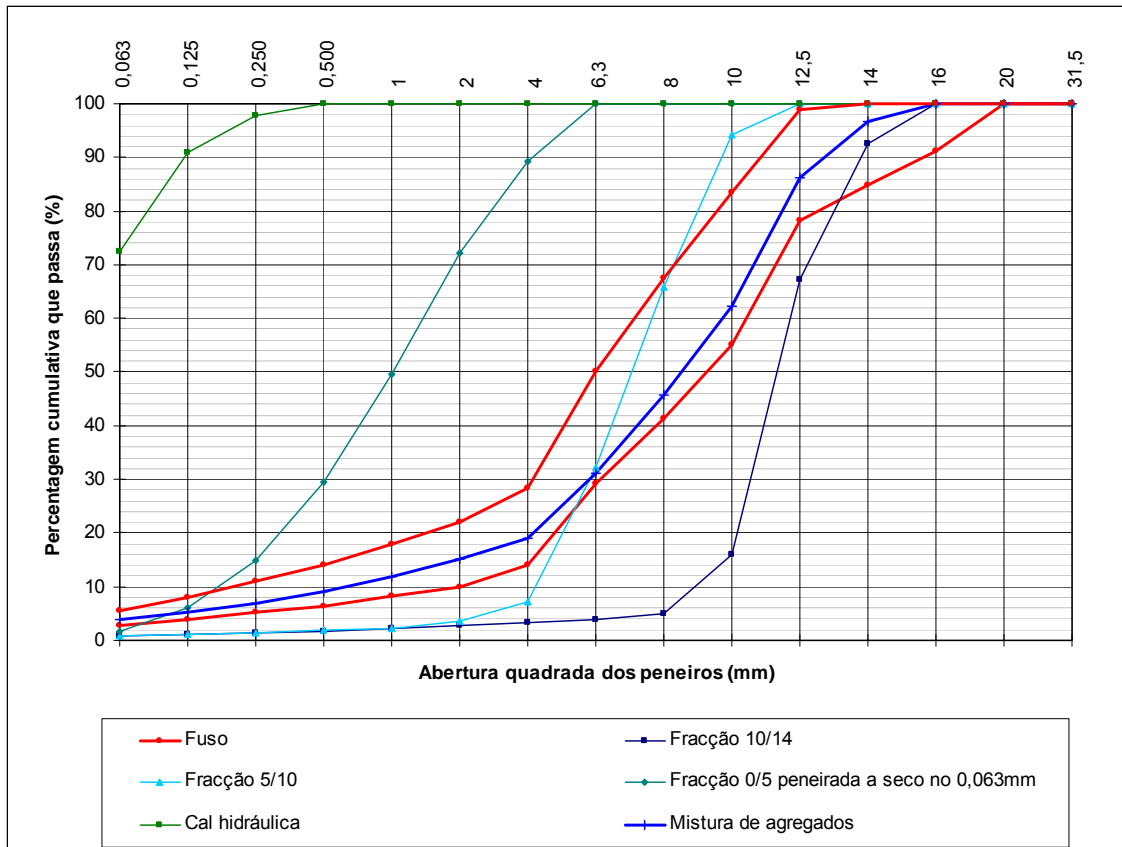


Figura 2 – Granulometria dos agregados e filler da mistura de agregados e fuso granulométrico

A composição adoptada para a mistura betuminosa foi a seguinte:

- Fracção 10/14: ..... 40,2%
- Fracção 5/10: ..... 40,1%
- Fracção 0/5 peneirada a seco no peneiro de 0,063mm ..... 11,5%
- Cal hidráulica:..... 3,8%
- Betume modificado:..... 4,4%

Segundo o estudo de formulação efectuado, a baridade máxima teórica desta mistura betuminosa drenante é de 2500 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.1.3 Apresentação dos resultados

Conforme apresentado no Quadro 3, o laboratório L1, fabricou mistura betuminosa de acordo com a composição alvo estabelecida, e fabricou os provetes de ensaio necessários para distribuição pelos 5 laboratórios participantes.

De referir que os provetes foram fabricados individualmente, ou seja, com uma amassadura para cada provete, e compactados à temperatura indicada pelo fornecedor.

No Quadro 5 a 7 apresentam-se os resultados obtidos para avaliação da sensibilidade à água, segundo os diferentes métodos e condições de ensaio utilizadas.

Em Anexo apresentam-se as FRE para os ensaios realizados segundo o método A da EN 12697-12, efectuados pelos diferentes laboratórios participantes.

**Quadro 5 – Resultados do ensaio de sensibilidade à água (norma MIL-STD-620A – método 104)**

Identificação da mistura betuminosa	Porosidade média dos provetes (%)	Ensaio			
		Laboratório	Grandeza	Provetes imersos 30 min. a 60°C	Provetes imersos 24h a 60°C
PA1	19	L1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2018	2021
			S (kN)	10,1	10,9
			IRC (%)	<b>100</b> (108%)	

Legenda:  $\rho_d$  – Baridade geométrica média;  
S – Valor médio da estabilidade Marshall corrigiada;  
IRC – Índice de resistência conservada (Marshall)

Quadro 6 – Resultados do ensaio de sensibilidade à água (EN 12697-12 – método A), a 15°C

Identificação da mistura betuminosa	Porosidade média dos provetes (%)	Ensaio			
		Laboratório	Grandeza	Provetes ≈3 dias ao ar a 20°C	Provetes submetidos a vácuo e imersos ≈70h a 40°C
PA1	18	PA1-1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2032	2044
			ITS (kN)	1178	852
			ITSR (%)	<b>72</b>	
	19	PA1-2	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2035	2033
			ITS (kN)	916	849
			ITSR (%)	<b>93</b>	
	18	PA1-3	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2044	2046
			ITS (kN)	987	870
			ITSR (%)	<b>88</b>	
	19	PA1-4	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2022	2009
			ITS (kN)	1181	844
			ITSR (%)	<b>71</b>	
	19	PA1-5	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2031	2028
			ITS (kN)	1156	865
			ITSR (%)	<b>75</b>	

Legenda:  $\rho_d$  – Baridade geométrica média;  
 ITS – Valor médio da resistência à tracção indirecta;  
 ITSR – Resistência conservada em tracção indirecta

**Quadro 7 – Resultados do ensaio de sensibilidade à água (EN 12697-12 – método A), a 25°C**

Identificação da mistura betuminosa	Porosidade média dos provetes (%)	Ensaio			
		Laboratório	Grandeza	Provetes ≈3 dias ao ar a 20°C	Provetes submetidos a vácuo e imersos ≈70h a 40°C
PA1	19	L1	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	2028	2026
			ITS (kN)	574	432
			ITSR (%)	93	

Legenda:  $\rho_d$  – Baridade geométrica média;  
 ITS – Valor médio da resistência à tracção indirecta;  
 ITSR – Resistência conservada em tracção indirecta

### 3.2 Outras misturas

Encontram-se em fase de conclusão os ensaios realizados com provetes de betão betuminoso fabricado com agregados graníticos e com dois tipos de betume (misturas AC14 G1 e AC14 G2). Os materiais para fabrico dos provetes destas misturas foram fornecidos pela empresa Monte Adriano Engenharia e Construção.

De acordo com o programa de trabalhos apresentado em 2.3, serão ainda realizados ensaios com misturas do tipo betão betuminoso fabricadas com agregados basálticos, também com dois tipos de betume (AC14 B1 e AC14 B2), a fornecer pela empresa Tecnovia S.A., e misturas do tipo betão betuminoso drenante fabricadas com seixo britado, a fornecer pela empresa Monte Adriano Engenharia e Construção.

## 4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados apresentados no Quadro 5 indicam que a mistura PA1 possui um Índice de Resistência Conservada (IRC) determinado pela norma MIL - STD – 620 A de 100%, verificando-se que os resultados obtidos para a sensibilidade à água pela EN 12697-12 são sempre inferiores.

Na Figura 3 representam-se graficamente os resultados obtidos nos ensaios para avaliação da sensibilidade à água da mistura PA1, realizados pela norma EN 12697-12, à temperatura de 15°C.

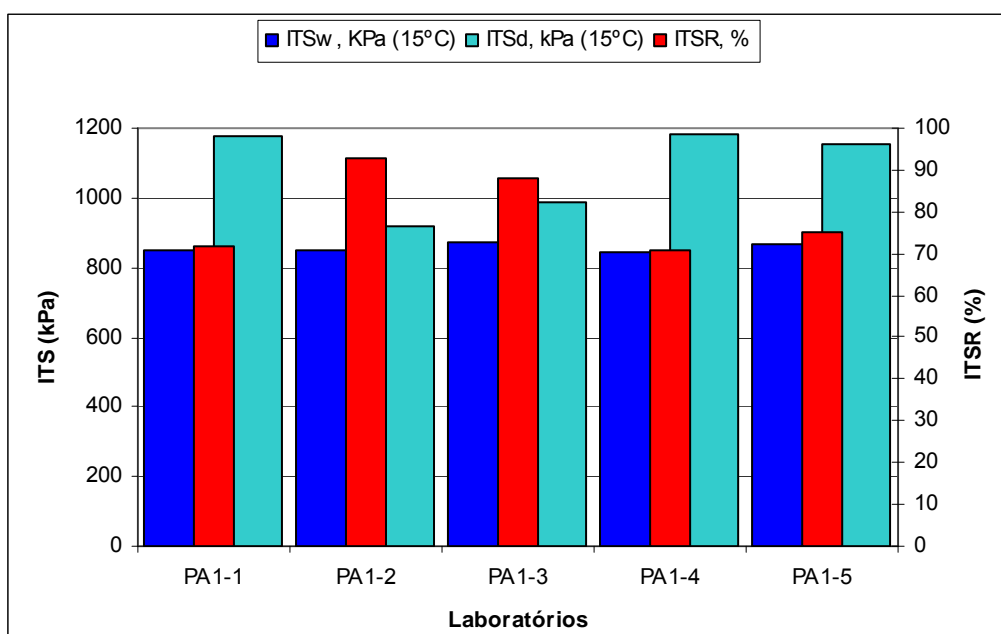


Figura 3 - Resultados dos ensaios obtidos para a mistura PA1

Os resultados apresentados na Figura 3 e no Quadro 6 demonstram que a resistência à tracção em compressão diametral após condicionamento em água (ITSw) tem variabilidade relativamente reduzida, situando-se entre 844 e 870 kPa. No entanto, observou-se uma maior variabilidade da resistência a seco (ITSD), o que condicionou a dispersão dos resultados da sensibilidade à água, que se situaram entre 71 e 93%.

Após análise destes resultados, tendo em atenção os procedimentos adoptados por cada um dos laboratórios intervenientes, concluiu-se que a variabilidade dos resultados obtidos para a resistência a seco poderá estar relacionada com a utilização de diferentes processos para o condicionamento dos provetes secos a 15°C, antes de proceder ao ensaio mecânico. Observa-se, no entanto, que é provável que seja obtida uma menor dispersão de resultados para o betão betuminoso tradicional do que para o betão betuminoso drenante.

Os resultados do ensaio realizado a 25°C apontam para menores valores das resistências com e sem imersão, como seria de esperar. No entanto a resistência conservada obtida pelo laboratório L1, no caso particular da mistura PA1 foi da mesma ordem de grandeza que os valores obtidos para os ensaios a 15°C.

## COLABORAÇÕES

---

O Grupo de Trabalho responsável pela realização dos ensaios inter-laboratoriais é constituído pelos seguintes elementos:

- Maria de Lurdes Antunes e Fátima Batista, Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- Adriano Teixeira, CICCOPN – Laboratório LGMC
- Cláudia Ferreira, Construções Gabriel A.S. Couto SA
- Luís Gomes, Mota-Engil – Laboratório Central
- Carla Guimarães e Vítor Gomes, Monte Adriano Engenharia e Construção – Laboratório Central


Agradece-se às empresas Construções Gabriel A.S. Couto SA, Monte Adriano Engenharia e Construção e Tecnovia SA o fornecimento dos materiais para o fabrico dos provetes.

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Junho de 2009

VISTOS

AUTORIAS

O Director do Departamento de Transportes



António Lemonde de Macedo

Investigador Coordenador



Fátima Alexandra B. Antunes Batista

Investigadora Auxiliar



Maria de Lurdes Antunes

Investigadora Coordenadora,  
Chefe do Núcleo de Infra-estruturas  
Rodoviárias e Aeroportuárias

## 5 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- [1] EN 12697-12:2008 – Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt. Part 12 - Determination of the water sensitivity of bituminous specimens (substitui a norma EN 12697-12:2003).
- [2] CRD-C 652-95 – “Standard Test Method for Measurement of Reduction in Marshall Stability of Bituminous Mixtures Caused by Immersion in Water” (Formerly MIL-STD-620A, Method 104, 13 January 1966), Construction Criteria Base - Handbook for Concrete and Cement, Whole Building Design Guide, <http://www.wbdg.org/> (consultado em Janeiro de 2009).
- [3] APORBET (1998) – Misturas Betuminosas. Contribuição para a normalização do fabrico e da aplicação. APORBET – Associação Portuguesa de Fabricantes de Misturas Betuminosas, 1998.
- [4] EN 13108-1:2006 – Bituminous mixtures – Material specifications. Part 1: Asphalt concrete..
- [5] EN 13108-7:2006 – Bituminous mixtures – Material specifications. Part 7: Porous Asphalt.
- [6] Airey, G.D. & Choi, Y.-K. 2002. State of the art report on moisture sensitivity test methods for bituminous pavement materials. International Journal of Road Materials and Pavement Design, 3 (4): 355-372.
- [7] EN 12697-23:2003 – Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt. Part 23 - Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens.
- [8] PG-3 – Pliego de Prescripciones Tecnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes. Parte 5ª Firmes. Artículo 542. Mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso e Artículo 543. M.b. para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas, <http://www.carreteros.org/normativa/pg3/indice.htm> (consultado em Janeiro de 2009).
- [9] EN 12697-30:2004+A1:2007 – Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt. Part 30 - Specimen preparation by impact compactor.



- [10] NP EN 13108-20:2008 – Misturas betuminosas. Especificações dos materiais. Parte 20: Ensaio de Tipo.
- [11] CRD-C 649-95 – Standard Test Method for Unit Weight, Marshall Stability, and Flow of Bituminous Mixtures (Formerly MIL-STD-620A, Method 100, 13 January 1996), Construction Criteria Base - Handbook for Concrete and Cement, Whole Building Design Guide, <http://www.wbdg.org/> (consultado em Janeiro de 2009).



ANEXO – Folhas de Registo de Ensaio dos Laboratórios  
Participantes

---



Protocolo InIR - LNEC									
ENSAIOS DE COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL PARA AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE À ÁGUA DE MISTURAS BETUMINOSAS COMPACTADAS									
EN 12697-12:2008 - Determinação da sensibilidade à água de provetes betuminosos									
Método A - Resistência à tracção indirecta									
LABORATÓRIO:	PA1-1								
Identificação da Mistura Betuminosa:	PA 1								
<b>Moldagem dos provetes</b>									
Laboratório:	L1								
Data:	2009-03-31								
<b>Recepção dos provetes</b>									
Data:	2009-04-14								
Identificação dos provetes:	7,8,9,10,11,12								
<b>Determinação da sensibilidade à água de provetes betuminosos</b>									
Data de início do ensaio:	2009-04-15								
Grupos:	Provetes "a seco"			Provetes "imersos"					
Identificação dos Provetes:	8	9	12	7	10	11			
<b>Características iniciais dos provetes</b>									
$m_i$	Massa do provete seco (arredondamento a 0,1g)	(g)	1041.0	1032.8	1034.6	1035.9	1036.9	1037.6	
$\phi_i$	Diâmetro do provete	(mm)	101.5	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	
$\phi$	Diâmetro médio (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	101.6			101.6			
$h_i$	Altura do provete	(mm)	62.3	62.9	62.5	62.2	64.0	62.6	
$h$	Altura média (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	62.6			62.9			
$\Delta h$	Diferença entre a altura média dos dois grupos de provetes (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	0.3			$\Delta H \leq 5 \text{ mm}$			
$v_i$	Volume do provete	(cm <sup>3</sup> )	504.1	510.0	506.7	504.3	518.9	507.5	
$\rho_{b,dim i}$	Baridade "geométrica" do provete (arredondamento a 1kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	2065	2025	2042	2054	1998	2044	
$\rho_{b,dim}$	Baridade "geométrica" média	(kg/m <sup>3</sup> )	2044			2032			
$\Delta \rho_{b,dim}$	Diferença entre a baridade "geométrica" média dos dois grupos de provetes	(kg/m <sup>3</sup> )	12			$\Delta \gamma \leq 15 \text{ kg/m}^3$			
$\rho_{b,SSD i}$	Baridade "imersa" (SSD) do provete (arredondamento a 1kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )							
$\rho_{b,SSD}$	Baridade "imersa" (SSD) média	(kg/m <sup>3</sup> )	#DIV/0!			#DIV/0!			
$\Delta \rho_{b,SSD}$	Diferença entre a baridade "imersa" (SSD) média dos dois grupos de provetes	(kg/m <sup>3</sup> )	#DIV/0!			$\Delta \gamma \leq 15 \text{ kg/m}^3$			
<b>Características dos provetes depois do vácuo</b>									
$\phi_f$	Diâmetro do provete	(mm)	-	-	-	101.7	101.6	101.6	
$h_f$	Altura do provete	(mm)	-	-	-	62.1	64.0	62.7	
$v_f$	Volume do provete	(cm <sup>3</sup> )	-	-	-	504.5	518.9	508.3	
$\Delta v$	Aumento de volume dos provetes, após o vácuo	(%)	-	-	-	0.0	0.0	0.2	
						$\Delta V \leq 2\%$			
<b>Ensaio de tracção indirecta EN 12697-23:2003</b>									
Tempo de condicionamento (h)						72h			
Temperatura de ensaio (°C)	15								
$P_i$	Resistência máxima	(kN)	12.738	11.407	11.131	8.448	8.955	8.296	
$P$	Resistência máxima média	(kN)	11.759			8.566			
$ITS_i$	Tracção indirecta	(GPa)	0.00128	0.00114	0.00112	0.00085	0.00088	0.00083	
$ITS_u$ e $ITS_w$	Tracção indirecta média (arredondamento até 3 algarismos significativos)	(GPa)	0.00118			0.00085			
		(kPa)	1178			852			
$ITSR$	Resistência conservada em tracção indirecta	(%)	72						
<b>Observação dos provetes após rotura à tracção indirecta</b>									
Tipo de rotura (tracção indirecta evidente, por deformação, combinada)	comb.	comb.	trac.ind.	comb.	trac.ind.	trac.ind.			
Revestimento de ligante na superfície do agregado exposto	R	R	R	R	R	R			
Presença de agregado fracturado ou esmagado	R	R	R	R	R	R			
Observações :									

Protocolo InIR - LNEC									
ENSAIOS DE COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL PARA AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE À ÁGUA DE MISTURAS BETUMINOSAS COMPACTADAS									
EN 12697-12:2008 - Determinação da sensibilidade à água de provetes betuminosos									
Método A - Resistência à tracção indirecta									
LABORATÓRIO:	PA1-2								
Identificação da Mistura Betuminosa:	PA 1								
<b>Moldagem dos provetes</b>									
Laboratório:	L1								
Data:	2009-04-01								
<b>Recepção dos provetes</b>									
Data:	2009-04-07								
Identificação dos provetes:	19; 20; 21; 22; 23; 24								
<b>Determinação da sensibilidade à água de provetes betuminosos</b>									
Data de início do ensaio:	2009-04-15								
Grupos:	Provetes "a seco"			Provetes "imersos"					
Identificação dos Provetes:	19	21	23	20	22	24			
<b>Características iniciais dos provetes</b>									
$m_i$	Massa do provete seco (arredondamento a 0,1g)	(g)	1036.9	1037.0	1033.3	1031.1	1038.5	1037.5	
$\phi_i$	Diâmetro do provete	(mm)	101.5	101.5	101.5	101.4	101.6	101.5	
$\phi$	Diâmetro médio (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	101.5			101.5			
$h_i$	Altura do provete	(mm)	62.4	63.5	63.0	63.6	62.3	62.8	
$h$	Altura média (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	63.0			62.9			
$\Delta h$	Diferença entre a altura média dos dois grupos de provetes (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	0.1 $\Delta H \leq 5 \text{ mm}$						
$v_i$	Volume do provete	(cm <sup>3</sup> )	504.9	513.8	509.8	513.6	505.1	508.1	
$\rho_{b,dim1}$	Baridade "geométrica" do provete (arredondamento a 1kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	2054	2018	2027	2008	2056	2042	
$\rho_{b,dim}$	Baridade "geométrica" média	(kg/m <sup>3</sup> )	2033			2035			
$\Delta \rho_{b,dim}$	Diferença entre a baridade "geométrica" média dos dois grupos de provetes	(kg/m <sup>3</sup> )	2 $\Delta \gamma \leq 15 \text{ kg/m}^3$						
$\rho_{b,SSD1}$	Baridade "imersa" (SSD) do provete (arredondamento a 1kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	---	---	---	---	---	---	
$\rho_{b,SSD}$	Baridade "imersa" (SSD) média	(kg/m <sup>3</sup> )	#DIV/0!			#DIV/0!			
$\Delta \rho_{b,SSD}$	Diferença entre a baridade "imersa" (SSD) média dos dois grupos de provetes	(kg/m <sup>3</sup> )	#DIV/0! $\Delta \gamma \leq 15 \text{ kg/m}^3$						
<b>Características dos provetes depois do vácuo</b>									
$\phi_f$	Diâmetro do provete	(mm)	-	-	-	101.6	101.6	101.5	
$h_f$	Altura do provete	(mm)	-	-	-	63.6	62.1	63.0	
$v_f$	Volume do provete	(cm <sup>3</sup> )	-	-	-	515.6	503.5	509.8	
$\Delta v$	Aumento de volume dos provetes, após o vácuo	(%)	-	-	-	0.4	-0.3	0.3	
$\Delta V \leq 2\%$									
<b>Ensaio de tracção indirecta EN 12697-23:2003</b>									
Tempo de condicionamento (h)	2h a 15°C			70h a 40°C e 2h a 15°C					
Temperatura de ensaio (°C)	15,2° C								
$P_i$	Resistência máxima	(kN)	10.028	8.778	8.775	7.971	8.287	9.298	
$P$	Resistência máxima média	(kN)	9.194			8.519			
$ITS_i$	Tracção indirecta	(GPa)	0.00101	0.00087	0.00087	0.00079	0.00084	0.00093	
$ITS_u$ e $ITS_w$	Tracção indirecta média (arredondamento até 3 algarismos significativos)	(GPa)	0.00092			0.00085			
		(kPa)	916			849			
$ITSR$	Resistência conservada em tracção indirecta	(%)	93						
<b>Observação dos provetes após rotura à tracção indirecta</b>									
Tipo de rotura (tracção indirecta evidente, por deformação, combinada)	trac.ind.	trac.ind.	trac.ind.	trac.ind.	trac.ind.	trac.ind.	trac.ind.		
Revestimento de ligante na superfície do agregado exposto	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
Presença de agregado fracturado ou esmagado	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
Observações :									

Protocolo InIR - LNEC									
ENSAIOS DE COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL PARA AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE À ÁGUA DE MISTURAS BETUMINOSAS COMPACTADAS									
EN 12697-12:2008 - Determinação da sensibilidade à água de provetes betuminosos									
Método A - Resistência à tracção indirecta									
LABORATÓRIO:				PA1-3					
Identificação da Mistura Betuminosa:				PA1					
<b>Moldagem dos provetes</b>									
Laboratório:				L1					
Data:				2009-04-03					
<b>Recepção dos provetes</b>									
Data:				2009-04-03					
Identificação dos provetes:				37, 38, 39, 40, 41 e 42					
<b>Determinação da sensibilidade à água de provetes betuminosos</b>									
Data de início do ensaio:				2009-04-17					
Grupos:				Provetes "a seco"			Provetes "imersos"		
Identificação dos Provetes:				37	39	41	38	40	42
<b>Características iniciais dos provetes</b>									
$m_i$	Massa do provete seco (arredondamento a 0,1g)	(g)	1038.3	1038.9	1032.6	1033.7	1036.3	1037.3	
$\phi_i$	Diâmetro do provete	(mm)	101.6	101.6	101.6	101.7	101.6	101.6	
$\phi$	Diâmetro médio (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	101.6			101.6			
$h_i$	Altura do provete	(mm)	62.6	63.0	61.9	62.9	61.8	62.7	
$h$	Altura média (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	62.5			62.5			
$\Delta h$	Diferença entre a altura média dos dois grupos de provetes (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	0.0						
			$\Delta H \leq 5 \text{ mm}$						
$v_i$	Volume do provete	(cm <sup>3</sup> )	507.5	510.8	501.8	511.0	501.0	508.3	
$\rho_{b,dim i}$	Baridade "geométrica" do provete (arredondamento a 1kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	2046	2034	2058	2023	2068	2041	
$\rho_{b,dim}$	Baridade "geométrica" média	(kg/m <sup>3</sup> )	2046			2044			
$\Delta \rho_{b,dim}$	Diferença entre a baridade "geométrica" média dos dois grupos de provetes	(kg/m <sup>3</sup> )	2						
			$\Delta \gamma \leq 15 \text{ kg/m}^3$						
$\rho_{b,SSD i}$	Baridade "imersa" (SSD) do provete (arredondamento a 1kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )							
$\rho_{b,SSD}$	Baridade "imersa" (SSD) média	(kg/m <sup>3</sup> )	#DIV/0!			#DIV/0!			
$\Delta \rho_{b,SSD}$	Diferença entre a baridade "imersa" (SSD) média dos dois grupos de provetes	(kg/m <sup>3</sup> )	#DIV/0!						
			$\Delta \gamma \leq 15 \text{ kg/m}^3$						
<b>Características dos provetes depois do vácuo</b>									
$\phi_f$	Diâmetro do provete	(mm)	-	-	-	101.6	101.7	101.7	
$h_f$	Altura do provete	(mm)	-	-	-	62.8	61.9	62.7	
$v_f$	Volume do provete	(cm <sup>3</sup> )	-	-	-	509.1	502.8	509.3	
$\Delta v$	Aumento de volume dos provetes, após o vácuo	(%)	-	-	-	-0.4	0.4	0.2	
			$\Delta V \leq 2\%$						
<b>Ensaio de tracção indirecta EN 12697-23:2003</b>									
Tempo de condicionamento (h)				68h a 40°C e 2h a 15°C					
Temperatura de ensaio (°C)				15					
$P_i$	Resistência máxima	(kN)	10.868	10.257	8.428	7.760	9.049	9.218	
$P$	Resistência máxima média	(kN)	9.851			8.676			
$ITS_i$	Tracção indirecta	(GPa)	0.00109	0.00102	0.00085	0.00077	0.00092	0.00092	
$ITS_a$ e $ITS_w$	Tracção indirecta média (arredondamento até 3 algarismos significativos)	(GPa)	0.00099			0.00087			
		(kPa)	987			870			
$ITSR$	Resistência conservada em tracção indirecta	(%)	88						
<b>Observação dos provetes após rotura à tracção indirecta</b>									
Tipo de rotura (tracção indirecta evidente, por deformação, combinada)			comb.	comb.	comb.	trac.ind.	comb.	comb.	
Revestimento de ligante na superfície do agregado exposto			NA	NA	NA	NA	NA	NA	
Presença de agregado fracturado ou esmagado			R	R	R	R	R	R	
Observações :									

Protocolo InIR - LNEC									
ENSAIOS DE COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL PARA AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE À ÁGUA DE MISTURAS BETUMINOSAS COMPACTADAS									
EN 12697-12:2008 - Determinação da sensibilidade à água de provetes betuminosos									
Método A - Resistência à tracção indirecta									
LABORATÓRIO:	PA1-4								
Identificação da Mistura Betuminosa:	PA 1								
<b>Moldagem dos provetes</b>									
Laboratório:	L1								
Data:	2009-04-01								
<b>Recepção dos provetes</b>									
Data:	2009-04-14								
Identificação dos provetes:	13, 14, 15, 16, 17, 18								
<b>Determinação da sensibilidade à água de provetes betuminosos</b>									
Data de início do ensaio:	2009-04-14								
Grupos:	Provetes "a seco"			Provetes "imersos"					
Identificação dos Provetes:	14	15	18	13	16	17			
<b>Características iniciais dos provetes</b>									
$m_i$	Massa do provete seco (arredondamento a 0,1g)	(g)	1041.0	1038.9	1035.5	1032.8	1036.9	1037.6	
$\phi_i$	Diâmetro do provete	(mm)	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	
$\phi$	Diâmetro médio (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	101.7			101.7			
$h_i$	Altura do provete	(mm)	62.7	65.2	63.1	62.7	63.3	63.3	
$h$	Altura média (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	63.7			63.1			
$\Delta h$	Diferença entre a altura média dos dois grupos de provetes (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	0.6			$\Delta H \leq 5 \text{ mm}$			
$v_i$	Volume do provete	(cm <sup>3</sup> )	509.2	529.0	512.6	509.0	514.2	513.7	
$\rho_{b,dim1}$	Baridade "geométrica" do provete (arredondamento a 1kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	2045	1964	2020	2029	2016	2020	
$\rho_{b,dim}$	Baridade "geométrica" média	(kg/m <sup>3</sup> )	2009			2022			
$\Delta\rho_{b,dim}$	Diferença entre a baridade "geométrica" média dos dois grupos de provetes	(kg/m <sup>3</sup> )	13			$\Delta\gamma \leq 15 \text{ kg/m}^3$			
$\rho_{b,SSD1}$	Baridade "imersa" (SSD) do provete (arredondamento a 1kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )							
$\rho_{b,SSD}$	Baridade "imersa" (SSD) média	(kg/m <sup>3</sup> )	#DIV/0!			#DIV/0!			
$\Delta\rho_{b,SSD}$	Diferença entre a baridade "imersa" (SSD) média dos dois grupos de provetes	(kg/m <sup>3</sup> )	#DIV/0!			$\Delta\gamma \leq 15 \text{ kg/m}^3$			
<b>Características dos provetes depois do vácuo</b>									
$\phi_f$	Diâmetro do provete	(mm)	-	-	-	101.7	101.7	101.7	
$h_f$	Altura do provete	(mm)	-	-	-	62.7	63.6	63.4	
$v_f$	Volume do provete	(cm <sup>3</sup> )	-	-	-	508.9	516.2	515.2	
$\Delta v$	Aumento de volume dos provetes, após o vácuo	(%)	-	-	-	0.0	0.4	0.3	
						$\Delta V \leq 2\%$			
<b>Ensaio de tracção indirecta EN 12697-23:2003</b>									
Tempo de condicionamento (h)	6,5h a 15°C			68,5h a 40°C+3h a 15°C					
Temperatura de ensaio (°C)	15								
$P_i$	Resistência máxima	(kN)	11.412	12.393	12.218	9.233	7.857	8.456	
$P$	Resistência máxima média	(kN)	12.008			8.515			
$ITS_i$	Tracção indirecta	(GPa)	0.00114	0.00119	0.00121	0.00092	0.00077	0.00083	
$ITS_u$ e $ITS_w$	Tracção indirecta média (arredondamento até 3 algarismos significativos)	(GPa)	0.00118			0.00084			
		(kPa)	1181			844			
$ITSR$	Resistência conservada em tracção indirecta	(%)	71						
<b>Observação dos provetes após rotura à tracção indirecta</b>									
Tipo de rotura (tracção indirecta evidente, por deformação, combinada)	comb.	def.	def.	def.	comb.	def.			
Revestimento de ligante na superfície do agregado exposto	*	*	*	*	*	*			
Presença de agregado fracturado ou esmagado	*	*	*	*	*	*			
Observações :	Nota*: Todos os provetes apresentam agregados fracturados na zona de rotura, mas a grande maioria dos agregados apenas "descolaram" e apresentam a superfície revestida por ligante.								



Protocolo InIR - LNEC									
ENSAIOS DE COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL PARA AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE À ÁGUA DE MISTURAS BETUMINOSAS COMPACTADAS									
EN 12697-12:2008 - Determinação da sensibilidade à água de provetes betuminosos									
Método A - Resistência à tracção indirecta									
LABORATÓRIO:				PA1-5					
Identificação da Mistura Betuminosa:				PA1					
<b>Moldagem dos provetes</b>									
Laboratório:				L1					
Data:				2009-03-31					
<b>Recepção dos provetes</b>									
Data:				2009-04-14					
Identificação dos provetes:				1 a 6					
<b>Determinação da sensibilidade à água de provetes betuminosos</b>									
Data de início do ensaio:				2009-04-15					
Grupos:				Provetes "a seco"		Provetes "imersos"			
Identificação dos Provetes:				2	5	6	1	3	4
<b>Características iniciais dos provetes</b>									
$m_i$	Massa do provete seco (arredondamento a 0,1g)	(g)	1032.7	1035.7	1030.5	1038.6	1037.1	1032.0	
$\Phi_i$	Diâmetro do provete	(mm)	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7	
$\Phi$	Diâmetro médio (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	101.7			101.7			
$h_i$	Altura do provete	(mm)	61.9	62.7	63.4	63.4	62.2	62.8	
$h$	Altura média (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	62.7			62.8			
$\Delta h$	Diferença entre a altura média dos dois grupos de provetes (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	0.1			$\Delta H \leq 5 \text{ mm}$			
$v_i$	Volume do provete	(cm <sup>3</sup> )	502.7	509.8	515.5	514.7	505.4	509.8	
$\rho_{b,dim i}$	Baridade "geométrica" do provete (arredondamento a 1kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	2054	2032	1999	2018	2052	2024	
$\rho_{b,dim}$	Baridade "geométrica" média	(kg/m <sup>3</sup> )	2028			2031			
$\Delta\rho_{b,dim}$	Diferença entre a baridade "geométrica" média dos dois grupos de provetes	(kg/m <sup>3</sup> )	3			$\Delta\gamma \leq 15 \text{ kg/m}^3$			
$\rho_{b,SSD i}$	Baridade "imersa" (SSD) do provete (arredondamento a 1kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )							
$\rho_{b,SSD}$	Baridade "imersa" (SSD) média	(kg/m <sup>3</sup> )	#DIV/0!			#DIV/0!			
$\Delta\rho_{b,SSD}$	Diferença entre a baridade "imersa" (SSD) média dos dois grupos de provetes	(kg/m <sup>3</sup> )	#DIV/0!			$\Delta\gamma \leq 15 \text{ kg/m}^3$			
<b>Características dos provetes depois do vácuo</b>									
$\Phi_f$	Diâmetro do provete	(mm)	-	-	-	101.7	101.7	101.7	
$h_f$	Altura do provete	(mm)	-	-	-	63.4	62.4	62.8	
$v_f$	Volume do provete	(cm <sup>3</sup> )	-	-	-	515.1	506.7	510.3	
$\Delta v$	Aumento de volume dos provetes, após o vácuo	(%)	-	-	-	0.1	0.3	0.1	
			-			$\Delta V \leq 2\%$			
<b>Ensaio de tracção indirecta EN 12697-23:2003</b>									
Tempo de condicionamento (h)				16		5			
Temperatura de ensaio (°C)				15					
$P_i$	Resistência máxima	(kN)	12.265	11.935	10.498	8.528	9.345	8.171	
$P$	Resistência máxima média	(kN)	11.566			8.681			
$ITS_i$	Tracção indirecta	(GPa)	0.00124	0.00119	0.00104	0.00084	0.00094	0.00081	
$ITS_d$ e $ITS_w$	Tracção indirecta média (arredondamento até 3 algarismos significativos)	(GPa)	0.00116			0.00086			
		(kPa)	1156			865			
$ITSR$	Resistência conservada em tracção indirecta	(%)	75						
<b>Observação dos provetes após rotura à tracção indirecta</b>									
Tipo de rotura (tracção indirecta evidente, por deformação, combinada)			trac.ind.	trac.ind.	trac.ind.	trac.ind.	trac.ind.	trac.ind.	
Revestimento de ligante na superfície do agregado exposto			NA	NA	NA	NA	NA	NA	
Presença de agregado fracturado ou esmagado									
Observações :			Os provetes húmidos deviam ter sido ensaiados a 18 de Abril, mas só foi possível ensaiar a 24 de Abril, devido à avaria da prensa de ensaio, entretanto foram condicionados a 15°C.						

Protocolo InIR - LNEC									
ENSAIOS DE COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL PARA AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE À ÁGUA DE MISTURAS BETUMINOSAS COMPACTADAS									
EN 12697-12:2008 - Determinação da sensibilidade à água de provetes betuminosos									
Método A - Resistência à tracção indirecta									
LABORATÓRIO:				L1					
Identificação da Mistura Betuminosa:				PA1					
<b>Moldagem dos provetes</b>									
Laboratório:				L1					
Data:				2009-04-02					
<b>Recepção dos provetes</b>									
Data:				2009-04-02					
Identificação dos provetes:				25, 26, 27, 28, 29 e 30					
<b>Determinação da sensibilidade à água de provetes betuminosos</b>									
Data de início do ensaio:				2009-04-14					
Grupos:				Provetes "a seco"			Provetes "imersos"		
Identificação dos Provetes:				26	27	28	25	29	30
<b>Características iniciais dos provetes</b>									
$m_i$	Massa do provete seco (arredondamento a 0,1g)	(g)	1038.0	1039.9	1036.0	1039.8	1035.8	1030.0	
$\phi_i$	Diâmetro do provete	(mm)	101.7	101.7	101.7	101.6	101.6	101.6	
$\phi$	Diâmetro médio (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	101.7			101.6			
$h_i$	Altura do provete	(mm)	63.4	62.5	63.2	63.4	63.1	62.5	
$h$	Altura média (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	63.1			63.0			
$\Delta h$	Diferença entre a altura média dos dois grupos de provetes (arredondamento a 0,1 mm)	(mm)	0.1 $\Delta H \leq 5 \text{ mm}$						
$v_i$	Volume do provete	(cm <sup>3</sup> )	515.3	507.4	513.1	514.3	511.8	506.9	
$\rho_{b,dim i}$	Baridade "geométrica" do provete (arredondamento a 1kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	2014	2049	2019	2022	2024	2032	
$\rho_{b,dim}$	Baridade "geométrica" média	(kg/m <sup>3</sup> )	2028			2026			
$\Delta\rho_{b,dim}$	Diferença entre a baridade "geométrica" média dos dois grupos de provetes	(kg/m <sup>3</sup> )	2 $\Delta\gamma \leq 15 \text{ kg/m}^3$						
$\rho_{b,SSD i}$	Baridade "imersa" (SSD) do provete (arredondamento a 1kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )							
$\rho_{b,SSD}$	Baridade "imersa" (SSD) média	(kg/m <sup>3</sup> )							
$\Delta\rho_{b,SSD}$	Diferença entre a baridade "imersa" (SSD) média dos dois grupos de provetes	(kg/m <sup>3</sup> )							
<b>Características dos provetes depois do vácuo</b>									
$\phi_f$	Diâmetro do provete	(mm)	-	-	-	101.6	101.7	101.7	
$h_f$	Altura do provete	(mm)	-	-	-	63.3	63.0	62.4	
$v_f$	Volume do provete	(cm <sup>3</sup> )	-	-	-	513.9	511.7	507.0	
$\Delta v$	Aumento de volume dos provetes, após o vácuo	(%)	-	-	-	-0.1	0.0	0.0	
						$\Delta V \leq 2\%$			
<b>Ensaio de tracção indirecta EN 12697-23:2003</b>									
Tempo de condicionamento (h)				68h a 40°C e 2h a 15°C					
Temperatura de ensaio (°C)				25					
$P_i$	Resistência máxima	(kN)	5.662	6.211	5.464	5.284	4.993	5.773	
$P$	Resistência máxima média	(kN)	5.779			5.350			
$ITS_i$	Tracção indirecta	(GPa)	0.00056	0.00062	0.00054	0.00052	0.00050	0.00058	
$ITS_a$ e $ITS_w$	Tracção indirecta média (arredondamento até 3 algarismos significativos)	(GPa)	0.000574			0.000532			
		(kPa)	574			532			
$ITSR$	Resistência conservada em tracção indirecta	(%)	93						
<b>Observação dos provetes após rotura à tracção indirecta</b>									
Tipo de rotura (tracção indirecta evidente, por deformação, combinada)				comb.	comb.	trac.ind.	comb.	trac.ind.	trac.ind.
Revestimento de ligante na superfície do agregado exposto				NA	NA	NA	NA	NA	NA
Presença de agregado fracturado ou esmagado				R	R	R	R	R	R
Observações :									

