

Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa máxima medida e da massa específica máxima medida em amostras não compactadas – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

Processo: 50600.028123/2019-32

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de 14/09/2020.

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:	Nº total de páginas
Densidade relativa máxima medida, massa específica máxima, método Rice, mistura asfáltica	9

Resumo

Este documento apresenta o procedimento para a determinação da densidade relativa máxima medida (G_{mm}) e da massa específica máxima medida (ME_{mm}) de misturas asfálticas não compactadas, utilizando o método Rice. A densidade relativa máxima medida (G_{mm}) substitui a densidade máxima teórica (DMT) tradicionalmente calculada pela média ponderada das densidades dos componentes da mistura asfáltica, sendo igual ou menor do que DMT, dependendo da absorção dos agregados. O valor encontrado é utilizado na determinação de parâmetros de dosagem e no controle das misturas asfálticas produzidas em usina, em laboratório ou extraídas em campo.

Abstract

This document presents the procedure to determine the maximum measured specific gravity and density of uncompacted asphalt mixtures, using the Rice method. The maximum measured density (DMM) replaces the theoretical maximum density (DMT), traditionally calculated as the weighted average of components densities of the bituminous mixture, being equal or lower than DMT, depending on aggregates absorption. The value found is used to determine parameters required in dosage projects and control of asphalt mixtures produced at the plant, in the laboratory or extracted in the field.

Sumário

Prefácio	1
1 Objetivo	2
2 Definições	2
3 Aparelhagem.....	2
4 Formação da amostra	3
5 Execução do ensaio.....	3
6 Procedimento de verificação de absorção de água para amostras contendo agregados porosos	4
7 Cálculos	4
8 Resultados	4
9 Relatório.....	5
Anexo A (Informativo) – Fotos.....	6
Anexo B (Informativo) – Precisão.....	7
Anexo C (Informativo) – Bibliografia.....	8
Índice geral.....	9

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DPP, para servir como documento base, visando estabelecer os procedimentos para determinação da densidade relativa máxima medida

e da massa específica máxima medida de misturas asfálticas não compactadas.

A criação desta norma procede dos estudos e pesquisas realizados no âmbito do Termo de Execução Descentralizada – TED nº 682/2014 firmado com a COPPE/UFRJ, para o desenvolvimento de método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimento asfáltico.

Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009-PRO.

1 Objetivo

Esta norma estabelece o procedimento técnico para determinação da densidade relativa máxima medida, anteriormente denominada densidade máxima teórica, e da massa específica máxima medida de misturas asfálticas não compactadas, utilizando o método Rice.

2 Definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições:

2.1 Densidade relativa máxima medida

Razão entre a massa da mistura asfáltica não compactada (solta) e a massa da água ocupando o mesmo volume, ambas à temperatura padronizada do ensaio.

2.2 Massa específica máxima medida

Razão entre a massa da mistura asfáltica não compactada (solta) e seu volume, à temperatura do ensaio, medidos em laboratório.

2.3 Pressão residual

Pressão em recipiente sob vácuo.

3 Aparelhagem

3.1 Bandeja metálica

Bandeja com dimensões mínimas de 450 x 320 x 60 mm.

3.2 Recipiente para ensaio

Frasco de vidro do tipo Kitasato ou frasco metálico, com capacidade mínima de 4.000 ml, resistente à pressão de vácuo, com tampão de borracha, ou de polimetacrilato de metila (PMMA) transparente, com conexão para a linha de vácuo.

A mangueira de conexão da linha de vácuo deve ter na entrada uma malha fina de abertura não maior do que 0,075 mm, para minimizar a perda de material fino, ou outro sistema de retenção dos finos.

3.3 Balança

Balança com capacidade mínima de 10.000 g e resolução de 0,1 g.

3.4 Bomba de vácuo

Bomba capaz de aplicar uma pressão residual de vácuo de 4 kPa (30 mm Hg) ou menos, com retentor de vapor d'água instalado entre o recipiente e a bomba de vácuo.

3.5 Manômetros

3.5.1 Manômetro para medir a pressão residual

Manômetro capaz de medir a aplicação da pressão residual, conectado no final da linha de vácuo, por tubo e conector tipo T, instalado no topo do recipiente. Deve ter precisão de 4 kPa (30 mm Hg) ou menor.

3.5.2 Manômetro para bomba de vácuo

Manômetro capaz de medir o vácuo, conectado diretamente à bomba de vácuo ou próximo desta (de 0 a 760 mm Hg).

3.6 Termômetro

Termômetro capaz de medir a temperatura da água do banho entre 20 °C e 30 °C, com resolução de 0,1 °C.

3.7 Banho-maria

Banho de água com sistema capaz de manter controlada a temperatura da água na faixa de (25 ± 1) °C, com capacidade para a imersão do recipiente contendo a amostra de aerada.

3.8 Válvula de alívio instalada no sistema de vácuo

Válvula para permitir o ajuste do vácuo a ser aplicado no recipiente e o alívio suave da pressão de vácuo.

3.9 Agitador mecânico

Dispositivo do tipo mesa vibratória, com controlador de velocidade, capaz de agitar a amostra para liberação do ar, com sistema para fixar o recipiente, de modo que este não se mova sobre a sua superfície de contato.

3.10 Estufa

Estufa com capacidade de aquecimento de até $(200 \pm 3) ^\circ\text{C}$.

3.11 Placa de vidro

Placa de vidro com dimensões suficientes para cobrir inteiramente a abertura do recipiente.

4 Formação da amostra

4.1 Obtenção da amostra

A amostra pode ser preparada em laboratório, extraída em campo ou coletada após usinagem ou transporte para a pista.

- a) Se a amostra for preparada em laboratório, a mistura asfáltica solta deverá ser mantida em estufa na temperatura de compactação por 2 horas, previamente ao ensaio;
- b) Se a amostra for obtida de corpo de prova extraído no campo, deverá ser aquecida a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até constância da massa. Após, retirar da estufa e promover a desagregação da mistura, descartando a parte externa do corpo de prova, que esteve em contato com a extratora;
- c) Se a amostra for coletada após usinagem ou no transporte para a pista, poderá ou não ser mantida em estufa na temperatura de compactação por 2 horas, a critério do projetista, previamente ao ensaio.

4.2 Massa da Amostra

A quantidade da amostra em massa deve atender aos requisitos da Tabela 1. Amostra com volume maior do

que 2/3 do volume do frasco deve ser ensaiada em partes, com pelo menos 1.250 g cada.

Tabela 1 – Quantidade mínima da amostra

Tamanho máximo nominal do agregado (mm)	Massa mínima de amostra (g)
38 ou maior	5.000
19 a 25	2.500
12,5	1.500

5 Execução do ensaio

Para a realização do ensaio deve-se seguir os seguintes passos:

- a) Deve ser determinada a massa do recipiente, cheio com água, a $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$. O enchimento adequado deve ser garantido utilizando-se uma placa de vidro de cobertura (conforme figura do Anexo A). Registrar essa medida como *B*.
- b) Separar as partículas da amostra ainda quente, obtida de acordo com a subseção 5a, em uma bandeja metálica, tomando o cuidado para evitar quebrar os agregados, porém de modo que as partículas da fração fina não fiquem em grumos maiores do que 6 mm. Resfriar a amostra até temperatura ambiente. Verificar a necessidade de separação adicional das partículas. Colocar a amostra no recipiente seco e tarado. Pesá-lo e registrar a massa da amostra como *A*.
- c) Acrescentar água destilada à temperatura de $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$, suficiente para que o nível final fique pelo menos 5,0 cm acima da amostra. Colocar o tampão no recipiente.
- d) Colocar e fixar o frasco com a amostra e a água sobre o dispositivo de agitação mecânica. Iniciar a agitação e imediatamente começar a remover o ar da amostra pela aplicação gradual da pressão de vácuo até que a pressão residual no manômetro registre uma leitura de $(3,7 \pm 0,3) \text{ kPa}$ (cerca de $27,5 \pm 2,5 \text{ mm Hg}$). O vácuo deve ser obtido em 2 minutos. Uma vez alcançada a pressão de vácuo estipulada, continuar a agitação e manter o vácuo por $(15,0 \pm 2,0) \text{ min}$.

NOTA 1: A agitação para a expulsão do ar existente entre os agregados poderá ser feita

manualmente por meio da agitação vigorosa do recipiente em intervalos de 2 min durante o período total de aplicação do vácuo ($15,0 \pm 2,0$ min).

e) Diminuir a pressão de vácuo gradativamente, utilizando a válvula de alívio.

f) Completar o volume do recipiente com água destilada, cuidadosamente, para não introduzir ar na amostra. Colocar o frasco no banho de água a $(25,0 \pm 1) ^\circ\text{C}$ por $(10,0 \pm 1)$ min para estabilizar a temperatura, sem submergir o topo do frasco. Medir e registrar a temperatura da água no interior do recipiente. Remover o termômetro e completar o volume com água a $(25,0 \pm 1,0) ^\circ\text{C}$, no recipiente, usando a placa de vidro para fazer a verificação do enchimento, tomando o cuidado de não introduzir ar na amostra. Enxugar o recipiente e a placa de vidro, para eliminar qualquer umidade externa. Determinar a massa do recipiente com a placa e seu conteúdo completamente preenchido com água. Registrar essa massa como C .

6 Procedimento de verificação de absorção de água para amostras contendo agregados porosos

Se os poros dos agregados não forem totalmente selados pelo filme asfáltico podem ficar saturados com água durante o processo de aplicação de vácuo. Para verificar se é necessária correção devido à absorção de água pelos agregados, proceder da seguinte maneira, após concluir os procedimentos descritos na subseção 5f:

- Drenar a água do recipiente por decantação sobre uma peneira de N° 200 ($75 \mu\text{m}$) para evitar a perda de finos da amostra;
- Espalhar a amostra sobre uma superfície não absorvente e remover a umidade superficial por ventilação. Quebrar manualmente os grumos e remexer intermitentemente a amostra, para facilitar a remoção da umidade, de modo que as partículas possam ser roladas ao invés de simplesmente movidas horizontalmente. Esse processo deverá levar cerca de duas horas;
- Determinar a massa da amostra a cada 15 minutos e quando a perda na massa for menor que 0,05% para este intervalo, a amostra pode ser considerada com superfície seca. Esta massa deve substituir a massa A .

7 Cálculos

a) Determinar a densidade relativa máxima medida da mistura asfáltica conforme a Equação 1:

$$G_{mm} = \frac{A}{A+B-C} \quad (1)$$

Onde:

G_{mm} – densidade relativa máxima medida da mistura (adimensional);

A – massa da amostra seca ao ar, expressa em gramas (g);

B – massa do recipiente com volume completo com água, expressa em gramas (g);

C – massa do recipiente contendo a amostra submersa em água, expressa em gramas (g).

NOTA 2: Se a amostra coletada for ensaiada em várias partes, relatar a densidade relativa máxima medida por meio da média ponderada das densidades encontradas para cada parte da amostra.

b) Determinar a massa específica máxima medida da mistura de acordo com a Equação 2:

$$ME_{mm} = 0,9971 \times G_{mm} \quad (2)$$

Onde:

ME_{mm} – massa específica máxima medida da mistura, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3);

G_{mm} – densidade relativa máxima medida da mistura (adimensional) obtida de acordo com a Equação 1.

NOTA 3: A constante 0,9971 refere-se à massa específica da água a $25 ^\circ\text{C}$, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3). Caso o ensaio seja realizado em outras temperaturas, utilizar a massa específica da água correspondente a esta temperatura.

8 Resultados

a) A densidade relativa máxima medida da mistura asfáltica deve ser a média de, no mínimo, três determinações de amostras da mesma mistura asfáltica, sendo que essas não devem divergir $\pm 0,020 \text{ g}/\text{cm}^3$ da média encontrada.

b) A massa específica máxima medida da mistura asfáltica deve ser a média de, no mínimo, três determinações de amostras da mesma mistura asfáltica, sendo que essas não devem divergir $\pm 0,020 \text{ g/cm}^3$ da média encontrada.

9 Relatório

O relatório deve conter as seguintes informações:


a) O resultado da densidade relativa máxima medida da mistura asfáltica (G_{mm}), adimensional ou da massa específica máxima medida da mistura asfáltica, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3), com três casas decimais;

b) O tipo de recipiente, o tipo de mistura, a quantidade em gramas de amostra ensaiada, número de amostras, a temperatura da água durante o ensaio e o número de determinações realizadas.

_____/Anexo A

Anexo A (Informativo) – Fotos

Fotos ilustrativas dos equipamentos e passos do ensaio

	
<p>Massa asfáltica solta</p>	<p>Bomba de vácuo e sistema retenção finos</p>
	
<p>Retirada do ar da amostra</p>	<p>Peso do recipiente cheio com água</p>
	
<p>Peso do recipiente com amostra e água</p>	<p>Recipiente no agitador e vácuo</p>

Anexo B (Informativo) – Precisão**Precisão**

Por falta de dados nacionais, admite-se como válido os padrões de repetibilidade e reprodutibilidade indicados pela norma ASTM D 2041/ 2011, baseado em dados do plano Inter laboratorial da AASHTO – Laboratório de materiais de referência (AMRL) indicados na Tabela B1 a seguir.

Tabela B1 – Indicações de aceitação de repetibilidade e reprodutibilidade para este ensaio

Ensaio de tipo e índice	Desvio padrão, 1 s		Intervalo de aceitação entre dois ensaios, d2s
Resultado obtido sem usar a seção 6	Um operador	0,0080	0,023
	Entre laboratório	0,0160	0,044
Resultado obtido usando a seção 6	Um operador	0,0064	0,018
	Entre laboratório	0,0193	0,055

_____/Anexo C

Anexo C (Informativo) – Bibliografia

- a) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO T 209: Standard method test of theoretical maximum specific gravity (G_{mm}) and density of hot mix asphalt (HMA). Washington, DC, 2012.
- b) AMERICAN SOCIETY FOR TEST AND MATERIALS. ASTM D 2041/D 2041M: Standard test method for theoretical maximum specific gravity and density of bituminous paving mixtures. West Conshohocken, 2011.
- c) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15619: Misturas asfálticas - Determinação da densidade máxima teórica e da massa específica máxima teórica em amostras não compactadas. Rio de Janeiro, 2016.

_____ /índice Geral

Índice geral

Abstract.....	1	Manômetro para medir a pressão residual3.5.1.....	2
Agitador mecânico	3.9	Manômetros.....	3.5.....2
Anexo A (Informativo) – Fotos.....	6	Massa da Amostra.....	4.2.....3
Anexo B (Informativo) – Precisão.....	7	Massa específica máxima medida.....	2.2.....2
Anexo C (Informativo) – Bibliografia.....	8	Objetivo	1.....2
Aparelhagem.....	3	Obtenção da amostra	4.1.....3
Balança	3.3	Placa de vidro.....	3.11.....3
Bandeja metálica.....	3.1	Prefácio	1
Banho-maria.....	3.7	Pressão residual.....	2.3.....2
Bomba de vácuo	3.4	Procedimento de verif. de abs. de água	6.....4
Cálculos	7	Recipiente para ensaio.....	3.2.....2
Definições	2	Relatório	9.....5
Densidade relativa máxima medida	2.1	Resultados.....	8.....4
Estufa.....	3.10	Resumo	1
Execução do ensaio.....	5	Sumário	1
Formação da amostra	4	Tabela 1 – Quant. mínima da amostra	3
Índice geral.....	9	Termômetro.....	3.6.....2
Manômetro para bomba de vácuo	3.5.2	Válvula de alívio instalada no sist. de vácuo	3.8.....3