



MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA
DEPARTAMENTO NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA GERAL

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E
PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS
RODOVIÁRIAS
Setor de Autarquias Norte
Quadra 03 Lote A
Ed. Núcleo dos Transportes
Brasília – DF – CEP 70040-902
Tel/fax: (61) 3315-4831

Julho/2019

NORMA DNIT 411/2019- ME

Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado miúdo para misturas asfálticas – Método de Ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias- IPR.

Processo: 50600.016770/2019-00.

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de 01/07/2019.

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:

Agregado miúdo, massa específica, densidade relativa

Total de páginas

10

Resumo

Esta Norma descreve o procedimento para determinação da massa específica média de uma quantidade de partículas de agregado miúdo (não incluindo o volume de vazios entre as partículas), a densidade relativa e a absorção do agregado miúdo. Dependendo do procedimento utilizado, a massa específica, em g/cm^3 , é expressa como seca em estufa ou real, superfície saturada seca ou aparente. A densidade relativa tem grandeza adimensional, é expressa como seca em estufa ou real, superfície saturada seca ou aparente. A massa específica real e a densidade relativa real são determinadas após a secagem do agregado. A massa específica aparente, a densidade aparente e a absorção são determinadas após a imersão dos agregados em água por tempo pré-estabelecido e medida da massa após secagem superficial dos grãos. Estas características são utilizadas para calcular o volume ocupado pelos agregados nas misturas asfálticas e o volume de vazios dos agregados.

Abstract

This norm describes the procedure to determine the average specific gravity of a quantity of fine aggregates particles (not including the voids volume between the particles) the relative density and absorption of fine aggregates. Depending on the employed procedure, the specific gravity, g/cm^3 , expressed as oven dry (OD) and

saturated surface dry (SSD). The relative density is dimensionless quantity, expressed as oven dry and saturated surface dry. The OD density and OD relative density are determined after drying the aggregates. The SSD specific gravity, SSD relative density, and absorption are determined after soaking the aggregate in water for a for a prescribed duration

Sumário

| | |
|---|----|
| Prefácio..... | 2 |
| 1 Objetivo..... | 2 |
| 2 Referências normativas..... | 2 |
| 3 Definições..... | 2 |
| 4 Aparelhagem..... | 3 |
| 5 Preparação das amostras..... | 3 |
| 6 Ensaio..... | 4 |
| 7 Cálculos adicionais | 4 |
| 8 Relatório..... | 4 |
| Anexo A (Informativo) - Terminologia..... | 5 |
| Anexo B (Informativo) – Fotos.. .. | 6 |
| Anexo C (informativo) - Precisão do ensaio..... | 8 |
| Anexo D (Informativo) - Bibliografia..... | 9 |
| Índice geral..... | 10 |

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DPP, para servir como documento base, visando estabelecer os procedimentos para a determinação da massa específica, da massa específica relativa (densidade) e a absorção de agregado miúdo. 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

Este método de ensaio define os procedimentos para determinação da massa específica média de uma quantidade de partículas de agregado miúdo (não incluindo o volume de vazios entre as partículas), a densidade relativa e a absorção do agregado miúdo, com base na massa dos agregados saturados com superfície seca. Este método de ensaio não deve ser usado para material pulverulento (amostra passante na peneira de abertura de 0,075 mm). Para esse tamanho de amostra usar o método de ensaio da norma DNER-ME 085/94.

2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação desta norma. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas):

- a) DNER-EM 035: Peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos – Especificação de material. Rio de Janeiro: IPR.
- b) DNER-PRO 120: Coleta de amostras de agregados – Procedimento. Rio de Janeiro: IPR.
- c) DNER-PRO 199: Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório – Procedimento. Rio de Janeiro: IPR.

3 Definições

3.1 Agregado miúdo

Entende-se por agregado miúdo a fração passante na peneira de 4 mm e retido na peneira de 0,075 mm.

3.2 Absorção

Aumento na massa de agregado devido à entrada de água nos poros das partículas durante um período de tempo pré-estabelecido de imersão, sem incluir a água aderida à superfície externa das partículas, expresso como uma porcentagem da massa seca. O agregado é considerado seco quando mantida a temperatura de 110 ± 5 °C, até massa constante.

3.3 Condição seca em estufa

Relacionada às partículas de agregado, esta é a condição dos agregados secos em estufa a 110 ± 5 °C, por tempo suficiente para atingir massa constante.

3.4 Condição saturada com superfície seca

Relacionada às partículas de agregados, é a condição na qual os poros permeáveis das partículas de agregado são preenchidos com água, quando submergidas em água por um período de tempo pré-estabelecido, porém sem excesso de água na superfície das partículas.

3.5 Massa específica

Massa (peso ao ar) por volume unitário de um material, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3), ou outra unidade do SI.

3.6 Massa específica real dos grãos do agregado - condição seca S (ME_{sa})

Razão entre a massa de agregado seco em estufa por volume unitário de partículas de agregado, incluindo o volume de poros permeáveis e impermeáveis dentro das partículas, mas não incluindo os vazios entre as partículas.

3.7 Massa específica aparente do agregado - condição saturada com superfície seca SSS (ME_{sb})

Massa do agregado na condição saturada e superfície seca por volume unitário das partículas de agregado, incluindo o volume de poros permeáveis e impermeáveis, poros preenchidos com água dentro das partículas, mas não incluindo os vazios entre as partículas.

3.8 Densidade relativa

Razão entre a massa específica de um material e a massa específica de água destilada, em certa temperatura, em geral 25 °C, doravante denominada de densidade, sendo os valores adimensionais.

3.9 Densidade relativa real do grão do agregado - condição seca (G_{sa})

Razão entre a massa específica aparente do grão do agregado e a massa específica de água destilada em uma dada temperatura, em geral 25 °C.

3.10 Densidade relativa aparente do agregado - condição saturada com superfície seca (G_{sb})

Razão entre a massa específica do agregado saturado com superfície seca e a massa específica de água destilada em uma dada temperatura, em geral 25 °C.

4 Aparelhagem

- a) Balança com capacidade de 1 kg ou mais, com sensibilidade de 0,1 g.
- b) Picnômetro frasco padronizado, com 500 mL de capacidade (100 mm³), com aproximação de 0,1 mL, com tampa, com capacidade para receber 500 g do agregado (ver anexo A).
- d) Molde tronco cônico de metal, com as seguintes dimensões: diâmetro interno de 40 ± 3 mm no topo, diâmetro interno de 90 ± 3 mm no fundo e 75 ± 3 mm de altura, espessura de parede mínima de 0,8 mm.
- e) Soquete de metal com massa de 340 ± 15 g e tampa de fechamento de diâmetro de 25 ± 3 mm.
- f) Estufa capaz de manter a temperatura uniforme, de 110 ± 5 °C.
- g) Termômetro com precisão de 0,5 °C.
- h) Peneiras de abertura de 4,8 mm e 0,075 mm.
- i) Pincel de cerdas macias.

5 Preparação das amostras

5.1 Fazer a amostragem dos agregados de acordo com a norma DNER-PRO 120/97. Misturar completamente a amostra de agregado e reduzi-la para obter uma amostra representativa de agregado miúdo (material retido entre as peneiras de 4,8 mm a 0,075 mm) de aproximadamente 1 kg, usando o procedimento prescrito na norma DNER-PRO 199/96.

5.2 Secar a amostra de agregado miúdo em estufa até massa constante, à temperatura de 110 ± 5 °C. Deixar esfriar até uma temperatura de manuseio confortável (aproximadamente 50 °C), cobrir com água e deixar por 24 ± 4h.

NOTA: Os valores de absorção, de massa específica e densidade relativa na condição SSS podem ser significativamente mais elevados para os agregados não secos em estufa antes da imersão em relação aos mesmos agregados tratados de acordo com a subseção 5.1.

5.3 Retirar o excesso de água com o cuidado de evitar a perda de finos, espalhar a amostra em uma superfície plana não-absorvente exposta a uma corrente de ar morno e agitar frequentemente, para assegurar uma secagem homogênea. Prosseguir a secagem até que os grãos de agregado miúdo não fiquem fortemente aderidos entre si.

5.4 Teste do tronco de cone: colocar o agregado miúdo no molde (tronco de cone), sem comprimir; compactar sua superfície suavemente com 10 golpes do soquete, adicionar mais agregado miúdo e aplicar mais 10 golpes. Adicionar material mais duas vezes, utilizando 3 e 2 golpes do soquete, respectivamente. Nivelar o material com o topo do molde, remover o material solto da base, com a ajuda de um pincel e levantar o molde verticalmente. Se ainda houver umidade superficial, o agregado conservará a forma do molde. Caso isto ocorra, continuar a secagem, revolvendo a amostra constantemente e fazer novos testes de tronco de cone a intervalos de tempo, até que o cone de agregado miúdo desmorone parcialmente ao retirar o molde. Neste momento o agregado deve ter chegado à condição de saturado com superfície seca - SSS.

5.5 O método descrito nas subseções 5.1 a 5.4 tem por fim assegurar que no primeiro ensaio o agregado tenha alguma umidade superficial. Se o cone desmoronar na primeira tentativa, o agregado miúdo deve ter sido seco além do seu ponto de saturado com superfície seca. Nesse caso, adicionar uma pequena quantidade de água, misturar intimamente e deixar a amostra em um recipiente tampado durante 30 minutos, iniciando novamente o processo de secagem e teste descritos nas subseções 5.1 a 5.4.

Adverte-se que alguns agregados miúdos com partículas predominantemente angulares, ou com alta proporção de finos, não apresentarão queda (slump) no ensaio do cone correspondente a atingir a condição de superfície seca. Deve-se testar isso, deixando cair uma mão cheia de agregado miúdo do ensaio do cone, em uma superfície,

de uma altura de 100 a 150 mm, e observar se finos ficam no ar; a presença de finos no ar indica esse problema. Para esses materiais, considere a condição de superfície saturada seca como o ponto em que um lado do tronco de agregado miúdo cai levemente ao se remover o molde.

6 Ensaio

6.1 Preencher parcialmente o picnômetro com água. Pesar 500 ± 10 g de agregado miúdo na condição de superfície saturada seca preparada como descrito na seção 5 desta norma. A massa de agregado miúdo na condição de superfície saturada seca medida na balança deve ser designada como B1. Introduzir essa massa no picnômetro e preencher com água adicional até, aproximadamente, 90 % da capacidade. Agitar o picnômetro, de forma manual ou mecânica, de maneira a eliminar as bolhas visíveis de ar.

Cerca de 15 a 20 minutos são normalmente adequados para eliminar as bolhas por métodos manuais. Introduzir a ponta do papel toalha dentro do picnômetro pode ser útil para dispersar a espuma que possa se formar quando as bolhas de ar estão sendo eliminadas. Opcionalmente, uma pequena porção de álcool isopropílico pode ser usada para dispersar a espuma.

6.2 Após eliminar todas as bolhas de ar, ajustar a temperatura do picnômetro e seu material a $25,0 \pm 2,0$ °C, se necessário, e adicionar água até que o nível de água no picnômetro atinja sua marca de calibração. Determinar a massa total do picnômetro, amostra e água, esta massa deve ser designada de C.

6.3 Remover o agregado miúdo do picnômetro, secá-lo em estufa até massa constante à temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F), esfriar ao ar à temperatura ambiente por $1 \pm \frac{1}{2}$ h e determinar a massa, que deve ser designada como A.

6.4 Determinar a massa do picnômetro cheio de água, até sua capacidade de calibração a $25,0 \pm 2,0$ °C, designada como B.

7 Cálculos adicionais

Considerar para as variáveis, obtidas neste método de ensaio, os símbolos a seguir:

A é a massa da amostra de ensaio seca em estufa (g);

B é a massa do picnômetro preenchido com água, até a marca de calibração (g);

C é a massa do picnômetro preenchido com a amostra e a água até a marca de calibração (g);

B1 é a massa da amostra na condição de superfície saturada e seca usada no ensaio (g);

7.1 Densidade relativa

7.1.1 Densidade relativa real com base no agregado seco em estufa:

$$G_{sa} = A / (B + B1 - C) \quad (1)$$

7.1.2 Densidade relativa aparente com base no agregado de superfície saturada e seca:

$$G_{sb} = B1 / (B + B1 - C) \quad (2)$$

7.2 Massa específica

7.2.1 Cálculo da massa específica real com base nos agregados secos em estufa:

$$ME_{sa} = 0,9971 A / (B + B1 - C) \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (3)$$

NOTA: O valor da constante usada nos cálculos (0,9971 g/cm³) é a massa específica da água a 25 °C.

7.2.2 Cálculo da massa específica aparente com base no agregado na condição de superfície saturada e seca:

$$ME_{sb} = 0,9971 B1 / (B + B1 - C) \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (4)$$

7.3 Cálculo da porcentagem de absorção

$$\text{Absorção (\%)} = 100 [(B1 - A)/A] \quad (5)$$

8 Relatório

8.1 Relatar os resultados de massa específica com aproximação de 0,01 g/cm³; resultados de densidade relativa com aproximação de 0,01; e indicar a consideração para a massa específica e densidade relativa, se foi condição seca em estufa (sa) ou na condição de superfície saturada e seca (sb);

8.2 Relatar o resultado de absorção com precisão de 0,1 %;

8.3 Se os valores de massa específica e a densidade relativa forem determinados sem a secagem prévia do agregado, reportar este fato no Relatório

Anexo A (Informativo)

DIFERENÇAS DE TERMINOLOGIA ENTRE BRASIL E EUA

DENSIDADE DE AGREGADOS

| BRASIL | | EUA | |
|---|---|--|---|
| MASSA ESPECIFICA | DENSIDADE RELATIVA | SPECIFIC GRAVITY | DENSITY |
| Grandeza com Dimensão | Grandeza Adimensional | Grandeza Adimensional | Grandeza com Dimensão |
| Relação entre massa (gramas) e volume (cm ³) | Relação entre massa específica do material e a massa específica da água a 25 °C | Razão entre massas de agregados secos e saturados com massa de agregados submersos a 23 °C | Multiplica-se a specific gravity pela densidade da água a 23 °C |
| Massa específica e densidade relativa tem o mesmo valor numérico quando se emprega a densidade da água a 4 °C que é 1 g/cm ³ , a outras temperaturas os valores são ligeiramente diferentes. | | Specific gravity e density não tem o mesmo valor numérico visto que se emprega a densidade absoluta da água numa temperatura diferente de 4 °C. | |
| Densidade = massa específica | | Relative Density = Specific Gravity | |
| Numericamente os valores de densidade relativa são os mesmos que os de <i>specific gravity</i> e <i>relative density</i> (EUA), mas diferentes de <i>density</i>. Os valores de massa específica (Brasil) são diferentes de <i>specific gravity</i> (EUA). | | | |

| BRASIL | | EUA | | |
|---------------------------|---|-------------------------|---|-------------------------------|
| DENSIDADE RELATIVA | | SPECIFIC GRAVITY | | |
| Grandeza adimensional | | Grandeza Adimensional | | |
| Real ou condição seca | Aparente ou condição superfície saturada seca | Condição seca | Bulk ou condição superfície saturada seca | Apparent (volume impermeável) |
| G _{sa} | G _{sb} | OD | SSD | |
| A/B-C | B/B-C | A/B-C | B/B-C | A/A-C |

Anexo B (Informativo) – Fotos de ensaio



Amostra de agregado seca em estufa com molde tronco cônico, soquete, pincel e espátula.



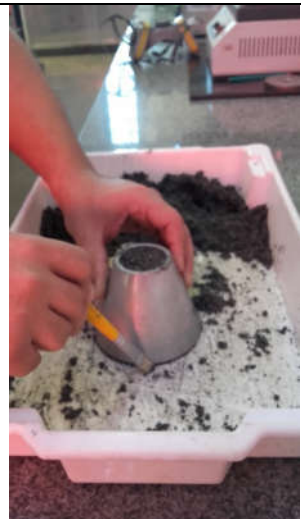
Amostra de agregado saturado por 24h



Compactação do agregado dentro do molde de tronco cônico



Nivelamento do material com o topo do molde após a compactação



Limpendo ao redor do molde



Na posição para levantar o molde verticalmente



Amostra de agregado com umidade superficial – amostra conservou a forma do molde



Amostra de agregado sem umidade superficial – cone desmoronou parcialmente ao retirar o molde (CONDIÇÃO DE UMIDADE DESEJADA)



Massa da amostra saturada superfície seca a ser colocada dentro do picnômetro



Picnômetro + amostra



Picnômetro com amostra + água



Picnômetro + água

Anexo C (informativo) – Precisão do ensaio

Por falta de dados atuais de programas interlaboratoriais brasileiros para este ensaio, sugere-se a utilização dos critérios de precisão indicados na norma AASTHO T 84/2009 apresentados na tabela seguinte.

| Precisão | | Desvio padrão (1s) | Faixa entre dois laboratórios (d2s) |
|-------------------|--|--------------------|--|
| Um operador | Densidade relativa real (G_{sa}) | 0,011 | 0,032 |
| | Densidade relativa aparente (G_{sb}) | 0,0095 | 0,027 |
| | Absorção (%) | 0,11 | 0,31 |
| Multilaboratórios | Densidade relativa real (G_{sa}) | 0,023 | 0,066 |
| | Densidade relativa aparente (G_{sb}) | 0,020 | 0,056 |
| | Absorção (%) | 0,23 | 0,66 |

_____/Anexo D

Anexo D (informativo) – Bibliografia

- a) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. *AASHTO T 84*: Standard method of test for specific gravity and absorption of fine aggregates. Washington, DC, 2013.
- b) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM C 29/C 29M*: Standard test method for bulk density (“unit weight”) and voids in aggregate. West Conshorhcken, 2017.
- c) _____. *ASTM C 70*: Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate. West Conshorhcken, 2013.
- d) _____. *ASTM C 117*: Standard test method for materials finer than 75- μm (no. 200) sieve in mineral aggregates by washing. West Conshorhcken, 2017.
- e) _____. *ASTM C 125*: Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates. West Conshorhcken, 2018.
- f) _____. *ASTM C 127*: Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate. West Conshorhcken, 2015.
- g) _____. *ASTM C 128*: Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate. West Conshorhcken, 2015.
- h) _____. *ASTM C 188*: Standard test method for density of hydraulic cement. West Conshorhcken, 2017.
- i) _____. *ASTM C 566*: Standard Test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying. West Conshorhcken, 2013.
- j) _____. *ASTM C 670*: Standard practice for preparing precision and bias statements for test methods for construction materials. West Conshorhcken, 2015.
- k) _____. *ASTM C 702/C 702M*: Standard practice for reducing samples of aggregate to testing size. West Conshorhcken, 2018.
- l) _____. *ASTM D 75/D 75M*: Standard practice for sampling aggregates. West Conshorhcken, 2014.
- m) _____. *ASTM D 85*: Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. West Conshorhcken, 2014.
- n) BERNUCCI, L. B. et al. *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. 3. reimpr. Rio de Janeiro: PETROBRAS; ABEDA, 2010.

Índice geral

| | | | | | |
|---|--------------|------|---|--------------|------|
| Absorção | 3.2 | 2 | Densidade relativa aparente do agregado - condição saturada com superfície seca (Gsb).... | 3.10..... | 3 |
| Abstract | | 1 | Densidade relativa real com base no agregado seco em estufa | 7.1.1..... | 4 |
| Agregado miúdo | 3.1 | 2 | Densidade relativa real do grão do agregado - condição seca (Gsa)..... | 3.9..... | 3 |
| Anexo A (Informativo)..... | | 5 | Ensaio..... | 6 | 4 |
| Anexo B (Informativo) – Fotos..... | | 6 | Índice geral | | 10 |
| Anexo C (informativo)..... | | 8 | Massa específica..... | 3.5, 7.2.... | 2, 4 |
| Anexo D (informativo) – Bibliografia | | 9 | Massa específica aparente do agregado - condição saturada com superfície seca SSS (MEsb) | 3.7..... | 2 |
| Aparelhagem..... | 4 | 3 | Massa específica real dos grãos do agregado - condição seca S (MEsa)..... | 3.6..... | 2 |
| Cálculo da massa específica aparente com base no agregado na condição de superfície saturada e seca | 7.2.2 | 4 | Objetivo | 1 | 2 |
| Cálculo da massa específica real com base nos agregados secos em estufa..... | 7.2.1 | 4 | Prefácio | | 2 |
| Cálculo da porcentagem de absorção..... | 7.3 | 4 | Preparação das amostras..... | 5 | 3 |
| Cálculos adicionais | 7 | 4 | Referências normativas | 2 | 2 |
| Condição saturada com superfície seca | 3.4 | 2 | Relatório | 8 | 4 |
| Condição seca em estufa..... | 3.3 | 2 | Resumo | | 1 |
| Definições | 3 | 2 | Sumário | | 1 |
| Densidade relativa..... | 3.8, 7.1 ... | 2, 4 | | | |
| Densidade relativa aparente com base no agregado de superfície saturada e seca | 7.1.2 | 4 | | | |