



MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA
DEPARTAMENTO NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA-GERAL
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E
PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS EM
TRANSPORTES
Setor de Autarquias Norte
Quadra 03 Lote A
Ed. Núcleo dos Transportes
Brasília – DF – CEP 70040-902
Tel/fax: (61) 3315-4831

MARÇO 2021

NORMA DNIT 413/2021 - ME

Pavimentação – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado graúdo para misturas asfálticas – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas em Transportes - IPR

Processo: 50607.003404/2017-51

Origem: Revisão de norma DNIT 413/2019 - ME

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 08/03/2021.

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 graúdo, densidade real, densidade aparente, massa específica real, massa específica aparente, absorção

Nº total de páginas

12

Resumo

Este documento apresenta o procedimento para determinação da massa específica de uma quantidade de partículas de agregado graúdo (não incluindo o volume de vazios entre as partículas), da densidade relativa e da absorção do agregado graúdo. Dependendo do procedimento utilizado, a massa específica é expressa como real ou aparente. A densidade relativa, grandeza adimensional, também é expressa como real ou aparente. A massa específica real e a densidade relativa real são determinadas após a secagem do agregado. A massa específica aparente, a densidade relativa aparente e a absorção são determinadas após a imersão do agregado em água por tempo preestabelecido.

Abstract

This document presents the procedure for determining the density of a quantity of coarse aggregate particles (not including the volume of voids between the particles), the specific gravity and the absorption of coarse aggregate. Depending on the procedure used, the density is expressed as apparent or bulk. The specific gravity is, dimensionless, also expressed as apparent or bulk. The apparent density and the specific gravity are determined after drying the aggregate. The density, the specific gravity and the absorption are determined after immersion of aggregate in water for a pre-established time.

Sumário

Prefácio	1
1 Objetivo	2
2 Referências normativas	2
3 Definições	2
4 Aparelhagem.....	3
5 Formação da Amostra.....	3
6 Execução do Ensaio	4
7 Cálculos	4
8 Relatório.....	6
Anexo A (Informativo) – Precisão de ensaio	7
Anexo B (Informativo) - Fotos	8
Anexo C (Informativo) - Bibliografia.....	11
Índice geral.....	12

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR/DPP, para servir como documento base, visando estabelecer os procedimentos para a determinação da massa específica, da densidade relativa e da absorção de agregado graúdo. Esta publicação cancela e substitui a publicação anterior (norma DNIT 413/2019 - ME), a qual foi tecnicamente revisada. Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009 - PRO.

1 Objetivo

Esta Norma estabelece os procedimentos para determinação da massa específica média de uma quantidade de partículas de agregado graúdo (não incluindo o volume de vazios entre as partículas), a densidade relativa e a absorção do agregado graúdo.

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) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER–EM 035/95: Peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos - Especificação de material.
- b) _____. DNER–PRO 120/97: Coleta de amostras de agregados - Procedimento.
- c) _____. DNER–PRO 199/96: Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório - Procedimento.

3 Definições

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

3.1 Agregado graúdo

O agregado graúdo corresponde à fração passante na peneira de 75 mm e retido na peneira de 4,75 mm.

3.2 Absorção

Aumento na massa de agregado devido à entrada de água nos poros das partículas durante um período de tempo preestabelecido, sem incluir a água aderida à superfície externa das partículas, expresso como uma porcentagem da massa seca.

3.3 Condição seca (A)

Condição na qual os agregados foram secos em uma estufa a (110 ± 5) °C, por tempo suficiente até atingir massa constante.

3.4 Condição saturada superfície seca (B)

Condição na qual os poros permeáveis das partículas de agregado são preenchidos com água, quando estas são submergidas em água por um período de tempo preestabelecido, mas sem água na superfície das partículas.

3.5 Massa específica

Massa por volume unitário de um material, expressa em quilogramas por metro cúbico, ou outra unidade do SI.

3.6 Massa específica real (ME_{sa})

Relação entre a massa do agregado seco em estufa e seu volume real (volume do sólido não incluindo os poros permeáveis).

3.7 Massa específica aparente (ME_{sb})

Relação entre a massa do agregado na condição seca, por seu volume aparente (volume do sólido incluindo o volume de poros permeáveis e impermeáveis).

3.8 Poros permeáveis

Descontinuidades ligadas diretamente à superfície externa do agregado que, na condição saturada e superfície seca, são passíveis de reter água.

3.9 Densidade relativa

Razão entre a massa específica de um material e a massa específica de água destilada em uma dada temperatura, sendo os valores adimensionais.

3.10 Densidade relativa real (G_{sa})

Razão entre a massa específica real do agregado e a massa específica de água destilada em uma dada temperatura.

3.11 Densidade relativa aparente (G_{sb})

Razão entre a massa específica aparente e a massa específica de água destilada em uma dada temperatura.

3.12 Tamanho nominal máximo (TNM)

É o tamanho de abertura de malha da peneira imediatamente acima daquela que retém mais que 10 % das partículas da amostra do agregado.

4 Aparelhagem

- a) Balança para a determinação de massa, com precisão de 0,05 % da massa da amostra dentro da faixa utilizada em qualquer etapa deste ensaio, ou 0,5 g, o que for maior. A balança deve estar equipada com um dispositivo capaz de suspender uma cesta com a amostra, dentro de um recipiente com água, colocado no meio da plataforma ou base da balança (pesagem hidrostática);
- b) Recipiente para a amostra - cesta de arame de malha de 3,35 mm (# nº 6) ou menor, com capacidade de 4 a 7 litros para agregados de tamanho nominal máximo de 37,5 mm (1½") ou menores. Recipiente mais largo se necessário para o ensaio relativo aos agregados de tamanhos máximos maiores. Deve ser fabricado de forma a evitar a retenção de ar quando imerso na água;
- c) Adverte-se de que o fio de sustentação da cesta deve ter o menor diâmetro possível e que a variação do comprimento submerso, antes e depois da colocação da amostra, não deve ultrapassar 10 mm, sendo tal variação verificada por uma marca prévia feita no fio;
- d) Tanque ou recipiente com água Impermeável e capaz de acomodar a cesta com a amostra totalmente submersa, enquanto suspensa na balança;
- e) Peneiras de 4,75 mm (# nº 4) ou de outros tamanhos, se for necessário (ver seção 6), de acordo com a norma DNER-EM 035/95;
- f) Estufa deve ter dimensões suficientes para acolher a cesta e capacidade de manter temperatura uniforme de (110 ± 5) °C.

5 Formação da Amostra

- a) Fazer a amostragem dos agregados de acordo com a DNER-PRO 120/97;
- b) Misturar completamente a amostra de agregado e reduzir até a quantidade necessária, aproximadamente as quantidades indicadas na Tabela 1, usando a norma DNER-PRO 199/96. Rejeitar todo o material passante na peneira de 4,75 mm (# nº 4) por peneiramento a seco e lavagem total, para remover o material pulverulento ou outras camadas da superfície dos grãos;
- c) Em alguns casos pode ser desejável ensaiar o agregado em frações separadas de dimensões diferentes. Quando a amostra tiver mais do que 15 % de material retido na peneira de 37,5 mm (1½"), ensaiar o material maior do que 37,5 mm em uma ou mais frações separadas das frações menores. Quando um agregado for ensaiado em frações separadas, a massa mínima para cada fração da amostra deve ser conforme a Tabela 2;

Tabela 1 – Quantidade mínima de agregado para ensaio de massa específica dos grãos

Tamanho Nominal Máximo, mm (pol.)	Massa mínima para a Amostra de Ensaio, kg
12,5 (1/2") ou menor	2
19,0 (3/4")	3
25,0 (1")	4
37,5 (1½")	5
50 (2")	8
63 (2½")	12
75 (3")	18

Tabela 2 – Quantidade mínima de fração de agregados para ensaio de massa específica dos grãos

Peneira (mm)		Massa mínima da fração, kg
Passante, %	Retida, %	
50	37,5	3
63	50	4
75	63	6

d) Quando a amostra for ensaiada em duas ou mais frações, deve ser determinada a graduação da amostra, incluindo as peneiras usadas na separação das frações. No cálculo da porcentagem de material em cada fração deve ser ignorada a quantidade de material mais fino do que a peneira de 4,75 mm (# n° 4);

e) Quando o agregado graúdo de tamanho nominal máximo elevado for ensaiado e exigir grande quantidade de partículas, o ensaio deve ser realizado em duas ou mais subamostras, combinando os valores obtidos para os cálculos descritos na seção 7.

6 Execução do Ensaio

a) Lavar e secar a amostra do ensaio na estufa até massa constante à temperatura de (110 ± 5) °C. Deixar esfriar ao ar livre, à temperatura ambiente, durante 1 a 3 horas para amostras de tamanho nominal máximo de 37,5 mm (1 ½”), ou por mais tempo para tamanhos maiores, até que o agregado esteja em uma temperatura que seja confortável para manuseio (aproximadamente 50 °C). Em seguida, submergir o agregado na água à temperatura ambiente por um período de (24 ± 4) h;

b) Remover a amostra da água e espalhar sobre um pano absorvente largo, rolando os grãos até que todos os filmes visíveis de água sejam removidos da superfície das partículas e em seguida enxugar as partículas maiores individualmente. Um jato de ar é permitido para ajudar na operação de secagem. Tomar cuidado para evitar a evaporação da água dos poros de agregados durante a operação de secagem da superfície;

c) Pesar imediatamente, determinando a massa da amostra na condição saturada de superfície seca e registrar o valor obtido como (*B*), com aproximação de 0,5 g ou 1 g, dependendo da massa ensaiada;

d) Imediatamente após esta pesagem, colocar o material na cesta e submergir completamente em água potável, à temperatura de (25 ± 2) °C. Acoplar a haste do recipiente no prato da balança, colocada em nível acima do tanque de água e registrar a leitura como (*C*);

NOTA 1: A balança deve ter sido previamente zerada com a cesta vazia e submersa em água. Tomar cuidado para remover todo o ar retido

antes de determinar a massa, agitando a cesta enquanto imersa.

NOTA 2: A diferença entre a massa ao ar livre (*B*) e a massa quando a amostra está submersa na água (*C*) é igual a massa da água deslocada pela amostra.

NOTA 3: A cesta deve ser imersa a uma profundidade suficiente para cobrir toda ela e a amostra durante a determinação da massa específica real. O arame ou cabo metálico utilizado para suspender a cesta deve ter o menor tamanho possível para minimizar efeitos de variáveis associadas a esse procedimento.

e) Secar a amostra na estufa até massa constante à temperatura de (110 ± 5) °C, esfriar à temperatura ambiente de 1 a 3 horas ou até atingir uma temperatura conveniente para sua manipulação. Determinar a massa do agregado seco e registrar como (*A*).

7 Cálculos

7.1 Densidade relativa

a) Densidade relativa real - Calcular a densidade relativa real dos grãos de agregado graúdo conforme Equação 1 a seguir:

$$G_{sa} = \frac{A}{A-C} \quad (1)$$

Onde:

G_{sa} – densidade relativa real dos grãos de agregado;

A – massa da amostra de ensaio, seca em estufa, no ar (g);

C – massa imersa da amostra de ensaio, saturada, em água (g).

b) Densidade relativa aparente - Calcular a densidade relativa aparente dos grãos de agregado conforme Equação 2 a seguir:

$$G_{sb} = \frac{A}{B-C} \quad (2)$$

Onde:

G_{sb} – densidade relativa aparente do agregado;

A – massa da amostra de ensaio, seca em estufa, no ar (g);

B – massa da amostra de ensaio na condição saturada com superfície seca, ao ar (g);

C – massa imersa da amostra de ensaio saturada, em água (g);

7.2 Massa específica

a) Massa específica real do grão do agregado - Calcular a massa específica real do grão do agregado conforme Equação 3:

$$ME_{sa} = 0,9971 \frac{A}{A-C} \quad (3)$$

Onde:

ME_{sa} – massa específica real do grão do agregado (g/cm^3);

A – massa da amostra de ensaio, seca em estufa, no ar (g);

C – massa imersa da amostra de ensaio saturada, em água (g).

O valor constante usado nos cálculos desta subseção 7.2 ($0,9971 \text{ g/cm}^3$) é a massa específica da água a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Se a água tiver em outra temperatura deve ser usado o valor da constante da massa específica da água correspondente a esta temperatura.

b) Massa específica aparente do agregado - Calcular a massa específica aparente do agregado conforme a Equação 4:

$$ME_{sb} = 0,9971 \frac{A}{B-C} \quad (4)$$

Onde:

ME_{sb} – massa específica aparente do agregado saturado com superfície seca (g/cm^3);

A – massa da amostra de ensaio, seca em estufa, no ar (g);

B – massa da amostra de ensaio, na condição saturada com superfície seca, no ar (g);

C – massa imersa da amostra de ensaio, saturada, em água (g).

7.3 Amostra ensaiada em frações

Quando a amostra for ensaiada em frações separadas, anotar os valores médios para massa específica ou densidade relativa da fração computada de acordo com as subseções 7.1 ou 7.2 usando a Equação 5:

$$G = \frac{1}{\left(\frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + \dots + \frac{P_n}{100G_n}\right)} \quad (5)$$

Onde:

G – massa específica ou densidade relativa média da amostra obtida de frações. Todas as formas de expressão da massa específica ou densidade relativa podem ter suas médias calculadas dessa maneira;

P_1, P_2, \dots, P_n – são percentuais de massa de cada fração presente na amostra original;

G_1, G_2, \dots, G_n – são valores específicos de massa específica ou densidade relativa média para cada uma das frações, dependendo do tipo de massa específica ou densidade relativa que terá sua média calculada.

7.4 Porcentagem de absorção

Calcular a porcentagem de absorção com a Equação 6:

$$Absorção(\%) = \frac{B-A}{A} 100 \quad (6)$$

Onde:

A – massa da amostra de ensaio, seca em estufa, no ar (g);

B – massa da amostra de ensaio, na condição saturada com superfície seca, no ar (g).

7.5 Absorção para amostras fracionadas

Quando a amostra for ensaiada em frações separadas, o valor médio de absorção é a média dos valores computados na subseção 7.4, ponderados com os percentuais de massa de cada fração presente na amostra original conforme a Equação 7:

$$A = \frac{(P_1A_1)}{100} + \frac{(P_2A_2)}{100} + \dots + \frac{(P_nA_n)}{100} \quad (7)$$

Onde:

A – absorção média (%);

P_1, P_2, \dots, P_n – percentagens de massa de cada fração presente na amostra original;

A_1, A_2, \dots, A_n – percentagens de absorção para cada fração.

8 Relatório

- a) Relatar os resultados de massa específica com precisão de 0,001 g/cm³ e resultados de densidade relativa com precisão de 0,001;
- b) Relatar o resultado de absorção com precisão de 0,1 %.

_____/Anexo A

Anexo A (Informativo) – Precisão de ensaio

As estimativas de precisão deste método de ensaio estão listadas na Tabela A1, realizadas nos EUA, baseadas nos resultados do programa interlaboratorial, denominado AASHTO *Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program*, com testes realizados pelos métodos ASTM C 127 e AASHTO T 85.

As estimativas de precisão para a densidade relativa foram calculadas a partir de valores determinados para massa específica, usando a massa específica da água a 23 °C para a conversão.

Tabela A1 – Precisão esperada para este ensaio

	Desvio-padrão (1s)	Faixa Aceitável para Dois Resultados (d2s)
<i>Precisão para Único Operador:</i>		
Densidade relativa real do grão de agregado (G_{sa})	0,009	0,025
Densidade relativa aparente do agregado (G_{sb})	0,007	0,020
<i>Precisão Multilaboratorial:</i>		
Densidade relativa real do grão de agregado (G_{sa})	0,013	0,038
Densidade relativa aparente do agregado (G_{sb})	0,011	0,032

_____/Anexo B

Anexo B (Informativo) – Fotos**Figura B1 – Massa do agregado seco em estufa****Figura B2 – Massa do agregado na condição Saturada Superfície Seca****Figura B3 – Massa do agregado imerso em água**

Nota: Condições de pesagem do ensaio.

Fonte: Gouveia, 2006.

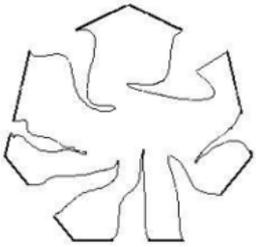
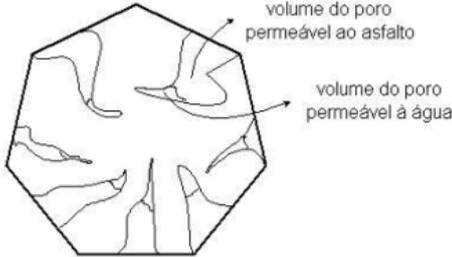
<p><u>Volume real do agregado</u></p> 	$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$
<p><u>Volume aparente do agregado</u></p> 	$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$

Figura B4 – Volume real e aparente do agregado



Figura B5 – Exemplo de conjunto de aparelhagem para este ensaio

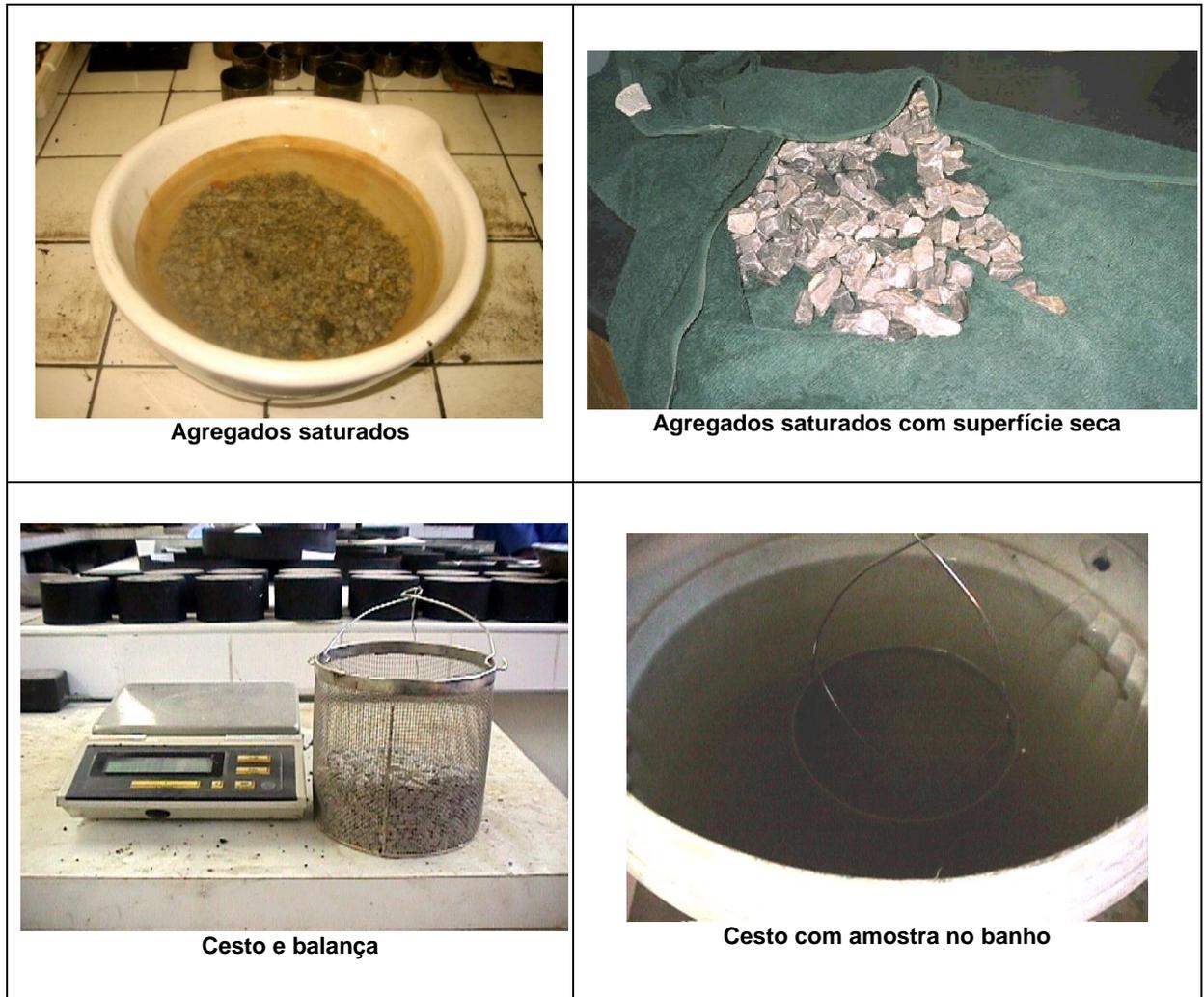


Figura B6 – Alguns passos do ensaio de massa específica do agregado graúdo

Anexo C (Informativo) - Bibliografia

- a) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C127: Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate. West Conshohocken, 2015.
- b) _____. ASTM C29/C29M: Standard test method for bulk density ("unit weight") and voids in aggregate. West Conshohocken, 2017.
- c) _____. ASTM C125: Standar test of terminology relating to concrete and concrete aggregates. West Conshohocken, 2018.
- d) _____ ASTM C128: Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate. West Conshohocken, 2015.
- e) _____. ASTM C136/C136M: Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. West Conshohocken, 2014.
- f) _____. ASTM C566: Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying. West Conshohocken, 2013.
- g) _____. ASTM C670: Standard practice for preparing precision and bias statements for test methods for construction materials. West Conshohocken, 2015.
- h) _____. ASTM C702/C702M: Standard practice for reducing samples of aggregate to testing size. West Conshohocken, 2018.
- i) _____. ASTM D75/D75M: Standard practice for sampling aggregates. West Conshohocken, 2014.
- j) BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 3. reimpr. Rio de Janeiro: PETROBRAS; ABEDA, 2010.
- k) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 195/97: agregados: determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo – Método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1997.
- l) GOUVEIA, L. T. Contribuições ao estudo de influência de propriedades de agregados no comportamento de misturas asfálticas densas. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

Índice geral

Absorção.....	3.2.....	2	Formação da Amostra.....	5.....	3
Absorção para amostras fracionadas.....	7.5.....	6	Índice geral.....		12
Abstract.....		1	Massa específica.....	3.5, 7.2.....	2, 5
Agregado graúdo.....	3.1.....	2	Massa específica aparente (MEsb).....	3.7.....	2
Amostra ensaiada em frações.....	7.3.....	5	Massa específica real (MEsa).....	3.6.....	2
Anexo A (Informativo) -.....		7	Objetivo.....	1.....	2
Anexo B (Informativo) - Fotos.....		8	Porcentagem de absorção.....	7.4.....	5
Anexo C (Informativo) - Bibliografia.....		11	Poros permeáveis.....	3.8.....	2
Aparelhagem.....	4.....	3	Prefácio.....		1
Cálculos.....	7.....	4	Referências normativas.....	2.....	2
Condição saturada superfície seca (B).....	3.4.....	2	Relatório.....	8.....	6
Condição seca (A).....	3.3.....	2	Resumo.....		1
Definições.....	3.....	2	Sumário.....		1
Densidade relativa.....	3.9, 7.1.....	2, 4	Tabela 1 – Quantidade mín. de agregado.....		3
Densidade relativa aparente (Gsb).....	3.11.....	3	Tabela 2 – Quantidade mín. de fração de agregados.....		3
Densidade relativa real (Gsa).....	3.10.....	2	Tamanho nominal máximo (TNM).....	3.8.....	3
Execução do Ensaio.....	6.....	4			