



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA GERAL

DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO E PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS

Rodovia Presidente Dutra, km 163
Centro Rodoviário – Vigário Geral
Rio de Janeiro/RJ
CEP 21240-000
E-mail: ipr@dnit.gov.br

Junho/2017

NORMA DNIT xxx/2017 - ME

Pavimentação - Misturas asfálticas - Ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência à deformação permanente – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

Processo administrativo nº 50607.001246/2017-02

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de / / .

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:

Mistura asfáltica, deformação permanente, número de fluxo, FN.

Total de páginas

9

Resumo

Esta Norma descreve um procedimento de ensaio para a determinação da resistência à deformação permanente de misturas asfálticas na fase de projeto e de construção, a partir do ensaio uniaxial de carga repetida em corpo de prova cilíndrico, utilizando o parâmetro denominado Número de Fluxo. Este parâmetro na designação internacional denomina-se *Flow Number*, com a sigla FN, mantida nesta Norma.

Abstract

This Standard describes a test procedure for determining of the permanent deformation resistance of asphalt mixtures in the design and construction phases from the uniaxial repeated load test on a cylindrical specimen, using the parameter named Flow Number, with the abbreviation FN, maintained in this standard.

Sumário

Prefácio	1
1 Objetivo.....	1
2 Referência normativa	2
3 Definições	2
4 Aparelhagem	2
5 Preparação do corpo de prova	3

6 Ensaio.....	4
7 Resultado	4
8 Relatório	5
Anexo A (Normativo) - Figuras.....	6
Anexo B (Informativo) – Fotos.....	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 a determinação da resistência à deformação permanente de misturas asfálticas. Sua criação teve origem nos estudos e pesquisa em desenvolvimento no âmbito do Termo de Execução Descentralizada – TED nº 682/2014 firmado com o COPPE/UFRJ, para elaboração de método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimento asfáltico. Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009-PRO.

1 Objetivo

Este método prescreve o modo pelo qual se determina a deformação permanente de um corpo de prova cilíndrico de mistura asfáltica, resultante da aplicação de carregamento de compressão uniaxial vertical repetido.

O carregamento repetido se constitui de pulsos de carga seguido por períodos de repouso. A deformação plástica vertical uniaxial acumulada é medida por sensores fixados diretamente no corpo de prova, colocado no interior de uma câmara de temperatura controlada.

2 Referência normativa

O documento citado a seguir serviu de base à elaboração desta norma. Aplica-se somente a edição mais recente do referido documento (inclusive emendas).

ABNT NBR 15897: Misturas asfálticas a quente - Preparação de corpos de prova com compactador giratório Superpave.

3 Definições

Para os fins desta norma aplicam-se as definições constantes das subseções a seguir:

3.1 Pulso

É o intervalo de tempo de duração da carga em que o corpo de prova é submetido a uma tensão uniaxial pulsante vertical. O pulso padrão neste ensaio é de 0,1 segundo de duração.

3.2 Duração do ciclo da carga repetida

Uma repetição de carga ou ciclo corresponde a um pulso de carregamento, seguido de um intervalo ou período de repouso. Uma repetição de carga neste ensaio corresponde a um pulso de 0,1 segundo de duração, seguido de um tempo de repouso de 0,9 segundo.

3.3 Frequência

No ensaio de carga repetida a frequência corresponde a quantos ciclos de carga são aplicados por minuto. No caso deste ensaio utiliza-se a frequência de 1HZ, que corresponde ao pulso de carga de 0,1 segundo, seguido de um tempo de repouso de 0,9 segundo, ou 60 ciclos por minuto (ver esquema ilustrativo da Figura 1 do Anexo A).

3.4 Curva de deformação plástica vertical uniaxial

Corresponde a plotagem da deformação plástica ou permanente vertical acumulada em função do número de ciclos de carregamento (Figura 2 – Anexo A).

3.5 Taxa de deformação plástica vertical uniaxial

É a deformação plástica vertical que o corpo de prova acumula a cada ciclo de carregamento.

3.6 Zona primária

Região da curva de número de ciclos por deformação vertical onde a taxa de deformação plástica vertical uniaxial sempre diminui com o tempo de carregamento, com taxa elevada de queda, representando a fase de consolidação, com variação de volume do corpo de prova (Figura 2 do Anexo A - região 1).

3.7 Zona secundária

Região da curva de número de ciclos por deformação vertical em que a taxa de deformação plástica vertical uniaxial apresenta leve redução, com variação de volume do corpo de prova (Figura 2 do Anexo A - região 2).

3.8 Zona terciária

Região que caracteriza cisalhamento a volume constante do corpo de prova, onde a taxa de deformação plástica vertical uniaxial aumenta com o tempo (Figura 2 do Anexo A - região 3).

3.9 Número de fluxo (Flow Number - FN)

É o ciclo da curva de deformação plástica vertical acumulada por número de ciclos onde começa a zona terciária, definido como o ponto onde a taxa de deformação é mínima durante o ensaio uniaxial de carga repetida. A passagem da zona secundária para a zona terciária caracteriza a ruptura pelo início do cisalhamento a volume constante.

3.10 Taxa de deformação plástica vertical uniaxial mínima

É o menor valor da taxa de deformação plástica vertical, usado para definir o FN, sendo o ponto de passagem da zona secundária para a zona terciária.

4. Aparelhagem

A aparelhagem deve ser constituída do que segue:

a) Prensa: a prensa pode ser hidráulica ou pneumática, servo-controlada ou não, com capacidade para gerar os carregamentos previstos no ciclo de ensaio (ver subseção 3.2). A prensa deve ser constituída de pórtico, base

e cabeçote. A carga deve ser aplicada verticalmente, de cima para baixo (atuador na parte superior da prensa).

b) Sistema de carregamento, composto de:

- Regulador de pressão, para aplicação da carga vertical repetida (P);
- Válvula de três vias de transmissão da carga vertical;
- Cilindro de pressão, pistão de carga e friso;
- Temporizador eletrônico, para controle do tempo de abertura (ou carregamento) da válvula e frequência de aplicação da carga vertical.

c) Câmara de temperatura: acoplada à máquina de ensaio, capaz de condicionar o corpo de prova para o ensaio na temperatura de $(60,0 \pm 0,5)$ °C. A câmara deve ter capacidade para acomodar no mínimo dois corpos de prova, sendo um do ensaio e o outro de monitoramento da temperatura interna.

d) Corpo de prova de monitoramento da temperatura: dimensões idênticas ao corpo de prova do ensaio, com dois sensores de temperatura, calibrados com precisão de $0,1$ °C, instalados no centro e a $0,5$ cm da borda.

e) Sistema de medição: automatizado, capaz de medir e armazenar o histórico de carga e os deslocamentos verticais do corpo de prova, obedecendo as características a seguir:

- Carga: deve ser medida com sensor eletrônico em contato com o atuador da máquina de ensaio, atendendo ao intervalo de medição mínimo de 0 kN a 5 kN, com resolução menor do que $0,001$ kN e precisão menor que $0,010$ kN;
- Deslocamentos verticais: medidos com dois sensores tipo LVDT, instalados em posições diametralmente opostas na parte central do corpo de prova, com comprimento de medida de (100 ± 2) mm, atendendo ao valor mínimo de 5 mm, resolução menor do que $0,00025$ mm e precisão menor que $0,00250$ mm.

f) Pratos superior e inferior: de alumínio, com espessura de 25 mm e diâmetro de 104 mm, com faces planas e lisas.

g) Equipamento para preparação dos corpos de prova: compactador giratório conforme descrito na norma ABNT NBR 15897 (2010).

5 Preparação do corpo de prova

Os corpos de prova devem ser preparados conforme descrito nesta seção.

a) O corpo de prova deve ser preparado de acordo com a norma ABNT NBR 15897:2010, em compactador giratório, diretamente nas dimensões necessárias do ensaio: altura de $150,0 \pm 2,5$ mm e o diâmetro de $102,0 \pm 2,0$ mm. Fazer o condicionamento da massa asfáltica durante duas horas em estufa, na temperatura de compactação, previamente. Para a compactação, fixar a altura em $150,0$ mm e ajustar a massa da mistura asfáltica de forma a atingir o grau de compactação de $97,0 \pm 0,5$ % da densidade aparente de projeto da mistura asfáltica compactada (Gmb).

b) Após a moldagem, cada corpo de prova deve ser armazenado por no mínimo 16 h e no máximo 15 dias, antes de ser ensaiado. Caso o corpo de prova não possa ser ensaiado até dois dias após sua confecção, deve ser envolto em saco de polietileno e estocado em ambiente sem luz, sob uma temperatura entre 5°C e 25°C . Durante o armazenamento o corpo de prova deve ser mantido na posição vertical em superfície plana, e não deve ser empilhado.

c) As medições do diâmetro e da altura do corpo de prova devem ser efetuadas com paquímetro, com precisão de $0,1$ mm, determinadas a partir da média de seis medidas: em duas direções, espaçadas em 90° , no centro e nos dois terços médios ao longo da geratriz. O diâmetro médio deve atender ao intervalo de 100 a 104 mm e desvio padrão menor ou igual a $0,5$ mm, rejeitado o corpo de prova que não atender a estes requisitos. Calcular a média de quatro medidas de altura, rejeitando o corpo de prova que não atender ao intervalo de $147,5$ a $152,5$ mm de altura.

d) Verificar se as faces de topo e de base do corpo de prova estão planas com o uso de um esquadro-padrão. Em cada uma das faces, em três posições diferentes e espaçadas em 120° , posicionar o esquadro ao longo do diâmetro e examinar o afastamento máximo entre a superfície do corpo de prova e o esquadro com o uso de um fio de aço-carbono, com diâmetro de $0,5$ mm, ou com um calibrador de folga. Em nenhum ponto das seis verificações, o fio de aço-carbono com diâmetro de $0,5$ mm ou o calibrador de folga deve passar por eventuais espaços existentes entre a face do corpo de prova e o

esquadro-padrão, sendo rejeitado todo corpo de prova que não atender a este requisito.

e) Verificar a perpendicularidade das faces de topo e de base dos corpos de prova em duas posições, espaçadas em 90°, com o uso de um esquadro-padrão. Colocar o esquadro-padrão sobre uma mesa, com sua base na posição horizontal e sua lâmina verticalmente. Apoiar o corpo de prova deitado sobre a base do esquadro-padrão, encostando uma de suas superfícies (topo ou base) na lâmina. Com o auxílio de um fio de aço-carbono, com diâmetro de 1,0 mm, ou de um calibre de folga, verificar o afastamento máximo entre a superfície do corpo de prova e a lâmina, que não deve exceder 1,0 mm.

6. Ensaio

a) Inicialmente, o corpo de prova deve ser colocado na câmara de temperatura a $60,0 \pm 0,5$ °C, por um período mínimo de 3 h. Para garantir a uniformidade de temperatura, deve-se juntar o corpo de prova de monitoramento de temperatura;

b) Após o condicionamento de 3 h, verificar a temperatura de $60,0 \pm 0,5$ °C, anotar como (Te) e considerar o corpo de prova pronto para ser ensaiado;

c) Instalar dois sensores LVDT acoplados ao corpo de prova, posicionando o conjunto no atuador da máquina de ensaio, perfeitamente centralizado, entre os pratos superior e inferior. As faces de topo e de base do corpo de prova devem ficar em contato direto com os pratos de carga. Executar esta operação no menor tempo possível, reduzindo a perda de temperatura da amostra e da câmara. Fechar a câmara e aguardar a estabilização da temperatura no seu interior e no corpo de prova de monitoramento. Monitorar as leituras do sistema de medição, verificando eventuais ruídos nos sinais de carga e deslocamento. Depois, iniciar o carregamento do ensaio. A altura de medida do deslocamento deve ser de 100 mm, aproximadamente.

NOTA: Pode-se, também, utilizar 3 sensores (um a cada 120°) ou 4 sensores (um a cada 90°) e outros tipos que não LVDT.

d) O carregamento de ensaio deve ser realizado em duas etapas: o pré-carregamento e o carregamento cíclico. No pré-carregamento do corpo de prova aplica-

se uma carga de compressão de $10,2 \pm 0,5$ kPa (Pcontato) por 60 s. Após o pré-carregamento, deve-se aplicar o carregamento cíclico de compressão, com duração de 1 s, dividido em duas partes:

- Pulso de carga de 0,1s, o mais próximo possível da forma $P = (1 - \cos \Theta) / 2$, com magnitude variando desde a carga de contato (Pcontato) até a carga máxima de $204,0 \pm 4,0$ kPa (Pmáxima);

- Período de repouso, com duração de 0,9 s, onde deve ser mantida a Pcontato.

e) Manter o carregamento cíclico até o final do ensaio, que se caracteriza por:

- Ruptura do corpo de prova, identificada pelo atingimento da zona terciária na curva de deformação plástica vertical uniaxial;

- O número de ciclos atinge 7.200 (aproximadamente 2 h de carregamento cíclico).

f) Plotar, no mesmo gráfico, duas curvas: número de ciclos por taxa de deformação plástica vertical uniaxial e número de ciclos por deformação acumulada (Figura 2 do Anexo A). Armazenar os principais dados de ensaio: deformação plástica vertical uniaxial, cargas de carregamento ao longo do ensaio (Pcontato e Pmáxima) e número de ciclos.

7 Resultado

7.1 Deformação plástica vertical uniaxial (ϵ_p)

Corresponde à média aritmética das deformações plásticas verticais uniaxiais medidas pelos dois sensores de deslocamento LVDT ao longo do ensaio e calculada pela fórmula:

$$\epsilon_{p_i} = \frac{\Delta L_{p_i}}{CM_i} \quad (1)$$

Onde:

ϵ_{p_i} é a deformação plástica vertical uniaxial no LVDT i, expressa em micro deformações (*microstrains*);

ΔL_{p_i} é o deslocamento plástico vertical uniaxial no LVDT i, expresso em milímetros (mm);

CMI é o comprimento de referência da medida do deslocamento plástico vertical uniaxial no LVDT i , expresso em milímetros (mm).

7.2 Deformação plástica vertical uniaxial total

Corresponde ao somatório das deformações individuais por ciclo:

$$\varepsilon_p = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_{p_i}}{2} \quad (2)$$

Onde:

ε_p é a deformação plástica vertical uniaxial, expressa em microstrains.

7.3 Número de fluxo (Flow Number - FN)

a) Obter os pontos das deformações versus número de ciclos durante o ensaio, que resulta em uma curva que indica os três estágios do ensaio: zonas primária, secundária e terciária. Com estes pontos o FN pode ser calculado por meio de uma planilha eletrônica, que permite a determinação da taxa de deformação mínima, que corresponde ao número de fluxo (FN), com precisão adequada para a interpretação do ensaio. O FN deve ser expresso por um número inteiro (número de ciclos).

b) Uma segunda forma de obtenção do ponto de definição do número de fluxo (FN) é ajustar um modelo de comportamento matemático a estes pontos experimentais. O modelo analítico, expresso na Equação 3, pode ser utilizado:

$$\varepsilon_p = AN^B + C(e^{DN} - 1) \quad (3)$$

Onde

N é o número de ciclos;

A, B, C e D são constantes do modelo ajustado aos pontos experimentais determinados para cada corpo de prova.

Obter a primeira e a segunda derivadas da curva de deformação plástica vertical uniaxial analítica a partir das Equações 4 e 5, respectivamente.

$$\frac{d\varepsilon_p}{dN} = ABN^{B-1} + CDe^{DN} \quad (4)$$

$$\frac{d^2\varepsilon_p}{dN^2} = AB(B-1)N^{B-2} + CD^2e^{DN} \quad (5)$$

A Equação 4 corresponde à taxa de deformação plástica vertical uniaxial analítica, cujo ponto de mínimo ao longo do número de ciclos (N) corresponde ao FN, conforme apresentado na Figura 2 do Anexo A. O FN corresponde ao ciclo onde o valor da segunda derivada (Equação 5) é igual a zero ou quando muda de negativo para positivo. O FN deve ser expresso por um número inteiro.

O resultado do ensaio deve ser a média dos FN obtidos em pelo menos três corpos de prova por mistura testada.

8 Relatório

O Relatório deve conter os dados de identificação do ensaio e as seguintes informações:

- Identificação dos corpos de prova, incluindo volume de vazios, data de fabricação e data de ensaio;
- Pcontato e Pmáximo médias de cada ensaio;
- Deformação plástica vertical uniaxial no FN de cada corpo de prova;
- FN de cada corpo de prova, o valor final sendo a média de três corpos de prova.

.

_____/Anexo A

Anexo A (Normativo)

Figura 1 - Duração dos tempos de carregamento e repouso (Bernucci *et al.*, 2010).

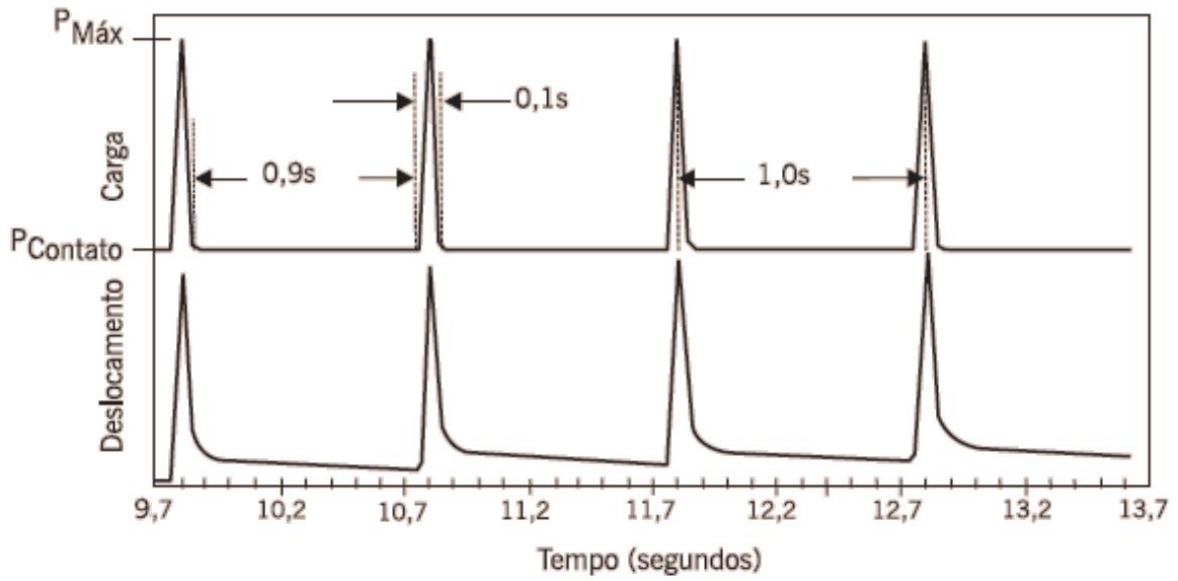
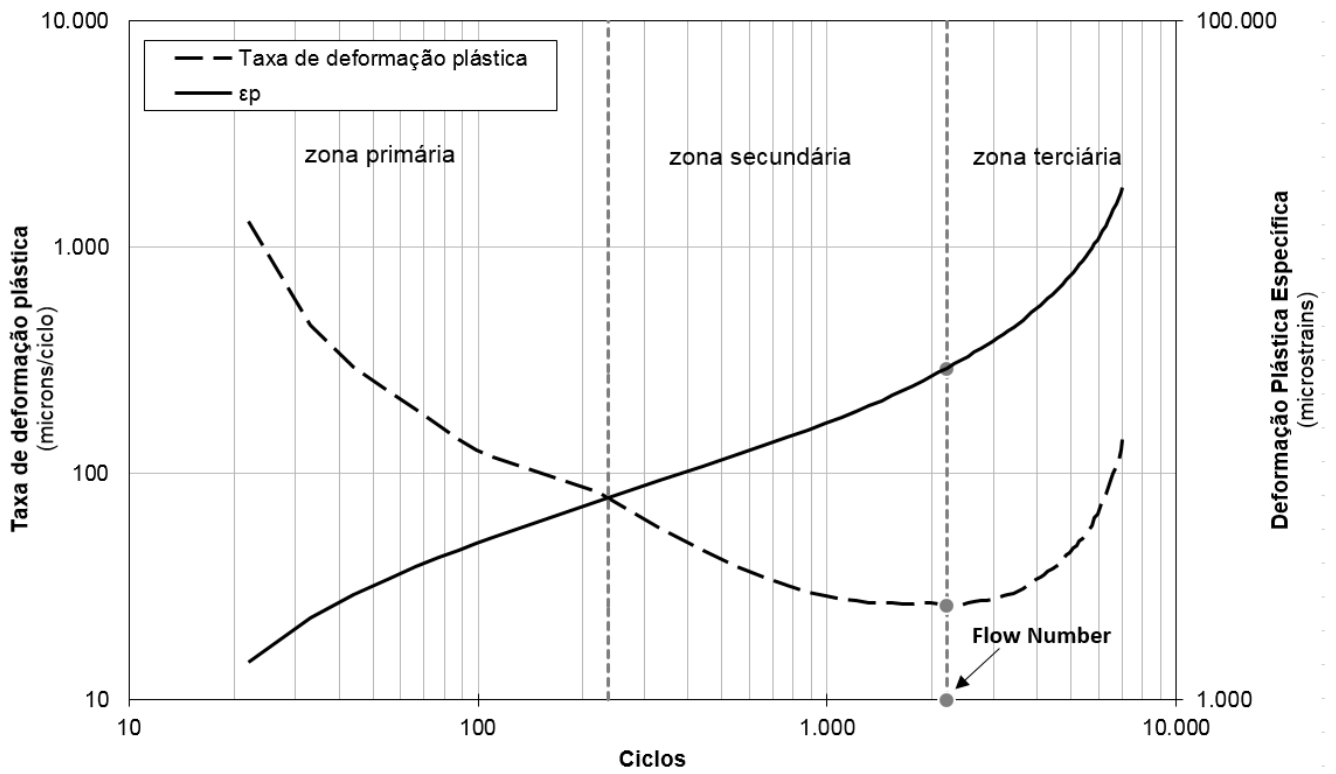


Figura 2 - Curva típica do ensaio uniaxial de carga repetida: deformação plástica vertical uniaxial acumulada versus número de ciclos



Anexo B (Informativo)**Foto 1 – Esquema de montagem do ensaio de número de fluência (FN)****Foto 2 – Exemplo de um corpo de prova antes e após o ensaio de FN**

Anexo C (Informativo) – Bibliografia

- [1] AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. TP 079-15-UL: *Standard method of test for determining the dynamic modulus and flow number for hot mix asphalt (HMA) using the asphalt mixture performance tester (AMPT)*. Washington, D.C., 2015.
- [2] _____. PP 060-14-UL: *Standard practice for preparation of cylindrical performance test specimens using the superpave gyratory compactor (SGC)*. Washington, D.C., 2015.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16505: Misturas asfálticas - Resistência à deformação permanente utilizando o ensaio uniaxial de carga repetida*. Rio de Janeiro, 2016.
- [4] BERNUCCI, L. B. et al. *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. 3. reimpr. Rio de Janeiro: PETROBRAS; ABEDA, 2010.
- [5] BONAQUIST, R. Ruggedness testing of the dynamic modulus and flow number tests with the simple performance tester. *NCHRP Report*, Washington, D.C., n. 629, 2008. Disponível em: <<https://www.yumpu.com/en/document/view/9709738/nchrp-report-629-transportation-research-board>>. Acesso em: 19 jun. 2017.
- [6] MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. *Mecânica dos pavimentos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.
- [7] NASCIMENTO, L. A. H. *Nova abordagem da dosagem de misturas asfálticas densas com uso do compactador giratório e foco na deformação permanente*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/LuisAlbertoHerrmannDoNascimento.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2017.
- [8] WITCZAK, M. W. et al. Simple performance test for superpave mix design. *NCHRP Report*, Washington, D.C., n. 465, 2002. Disponível em: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_465.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2017.

Índice geral

Abstract		1	Objetivo	1	1
Anexo A (Normativo)		6	Prefácio		1
Anexo B (Informativo)		7	Preparação do corpo de prova	5	3
Anexo C (Informativo) - Bibliografia		8	Pulso	3.1	2
Aparelhagem	4	2	Referência normativa	2	2
Curva de deformação plástica vertical uniaxial	3.4	2	Relatório	8	5
Definições	3	2	Resultado	7	4
Deformação plástica vertical uniaxial (ϵ_p)	7.1	4	Resumo		1
Deformação plástica vertical uniaxial total	7.2	5	Sumário		1
Duração do ciclo da carga repetida	3.2	2	Taxa de deformação plástica vertical uniaxial	3.5	2
Ensaio	6	4	Taxa de deformação plástica vertical uniaxial mínima	3.10	2
Frequência	3.3	2	Zona primária	3.6	2
Índice geral		9	Zona secundária	3.7	2
Número de fluxo (Flow Number - FN)	3.9, 7.3	2, 5	Zona terciária	3.8	2
