



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

MARÇO 2020

NORMA DNIT 423/2020 - ME

Pavimentação – Ligante asfáltico – Fluência e recuperação de ligante asfáltico determinados sob tensões múltiplas (MSCR) – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

Processo: 50600.028128/2019-65

Origem: TED 682/2014

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 10 /03 /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:

Reologia; Fluência; Conformidade não recuperável; Recuperação; DSR (reômetro de cisalhamento dinâmico); Recuperação elástica; MSCR; Asfalto modificado por polímero.

Nº total de páginas

11

Resumo

Este método de ensaio refere-se à determinação do percentual de recuperação e da conformidade não recuperável de ligantes asfálticos, por meio do ensaio de fluência e recuperação (MSCR) realizado a tensões de 100Pa e 3200Pa. Este método executado no reômetro de cisalhamento dinâmico (DSR) a temperaturas específicas é usado para identificar a presença de resposta elástica em um ligante asfáltico e a mudança da resposta elástica em dois diferentes níveis de tensão. A conformidade não recuperável é utilizada para avaliar a suscetibilidade de ligantes asfálticos ao acúmulo de deformação permanente quando sujeitos a cargas repetidas do tráfego.

Abstract

This method covers the determination of percent recovery and non-recoverable creep compliance of asphalt binders by means of multiple stress creep and recovery (MSCR) test conducted at stress of 10 and 3200Pa. This method using the Dynamic Shear Rheometer (DSR) at specified temperatures is used to identify the presence of elastic response in a binder and the change in elastic response at two different stress levels. Non-recoverable creep compliance has been used to evaluate the accumulated rutting susceptibility of asphalt binders when submitted to repeated load traffic.

Sumário

Prefácio	1
1 Objetivo.....	2
2 Referências normativas	2
3 Definições	2
4 Aparelhagem	2
5 Amostra	2
6 Ensaio.....	2
7 Resultados.....	3
8 Relatório	4
9 Precisão e exatidão	5
Anexo A (Normativo) – Tabela	6
Anexo B (Informativo) – Ilustrações.	7
Anexo C (Informativo) - Bibliografia.....	10
Índice geral.....	11

Prefácio

Esta Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DPP, para servir como documento base, visando estabelecer os procedimentos para a determinação da percentagem de recuperação, conformidade não recuperável e a suscetibilidade ao acúmulo de deformação permanente de ligantes asfálticos.

O ensaio é apropriado para ligantes envelhecidos no RTFOT, de acordo com o método de ensaio NBR 15235 – Materiais asfálticos – Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional.

O comportamento da fluência e recuperação determinada durante o ensaio realizado a ciclos de aplicação de carga e descarga a dois níveis de tensões, destina-se a avaliar o comportamento elástico e não-elástico do ligante asfáltico não-modificado ou modificado. Sendo os resultados expressos em unidades SI.

Este documento foi formatado de acordo com a Norma DNIT 001/2009-PRO e está baseado na norma ASTM D7405-15.

1. Objetivo

Este método de ensaio contempla a determinação da presença de resposta elástica em ligantes asfálticos submetidos à fluência cisalhante e recuperação, em dois níveis de tensões, a determinadas temperaturas. Tendo em vista que este ensaio é um indicador da resistência à deformação permanente de ligantes asfálticos, recomenda-se efetuar-lo a temperaturas máximas de pavimento, correspondente ao grau de desempenho (PG) máximo da especificação ASTM D6373 que no Brasil geralmente é da ordem de 64 e 70°C, dependendo do local onde vai ser aplicado o ligante.

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) ABNT NBR 15235 – Materiais asfálticos – Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional.
- b) ASTM D7175-15 - Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer.
- c) ASTM D6373-16. – Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder.

3. Definições

Para os efeitos desta norma, aplicam-se as seguintes definições:

3.1. Fluência e recuperação

Ensaio reológico onde uma amostra é submetida a um carregamento constante durante um tempo fixo, seguido de um período de repouso fixo, ou seja, sem aplicação de carregamento.

3.2. Compliância não-recuperável (Jnr)

Valor da deformação residual ou permanente de uma amostra após um ciclo de deformação e recuperação dividido pela tensão aplicada em kPa.

4. Aparelhagem

Reômetro de Cisalhamento Dinâmico (DSR) - dispositivo de aplicação de carga com sistema de controle e aquisição de dados. O fabricante do equipamento deve emitir certificado garantindo que a frequência, ângulo de fase e torque são controlados ou medidos com acurácia na faixa de medições (erro \leq a 1%). O equipamento está descrito na norma ASTM D7175-15 com seus acessórios. O reômetro deverá ser capaz de executar o ensaio em modo de controle de tensão. No Anexo B apresenta algumas fotos e esquemas ilustrativos da aparelhagem (Figuras 1 e 2).

5. Amostra

Preparar a amostra de ensaio de acordo com a seção de preparação descrita na norma ASTM D7175–15 usando a geometria de placas paralelas de 25 mm de diâmetro com um espaçamento entre as placas (*gap*) de 1 mm.

6. Ensaio

6.1 Inserir a amostra no reômetro de cisalhamento dinâmico, aguardar o equilíbrio térmico da amostra de acordo com a norma ASTM D7175–15. Se a amostra foi previamente ensaiada em cisalhamento dinâmico, deixar a amostra sem carregamento por pelo menos 1 minuto antes de iniciar o ensaio de fluência. Ensaiar a amostra na máxima temperatura esperada para o pavimento.

6.2 Ciclo de tensão e de recuperação – Aplicar um carregamento de tensão constante na amostra durante 1,00 segundo, seguido de 9,00 segundos de repouso, ou seja, sem aplicação de carregamento. O torque total recomendado para cada ciclo de fluência deve ser atingido dentro de 0,003 s a partir do início do ciclo de fluência, conforme certificado pelo fabricante do reômetro de cisalhamento dinâmico. Registrar a tensão e a deformação pelo menos a cada 0,10 s para ciclo de fluência e pelo menos a cada 0,45 s para o ciclo de recuperação num ensaio de tempo acumulado para que os dados de deformação a exatamente 1,00 s e 10,00 s para cada ciclo do ensaio sejam explicitamente registrados, em adição a outros. Caso esse registro não seja realizado pelo DSR, então o software do DSR deve extrapolar previamente os dados para determinar os valores de deformação nos tempos requeridos. Dados de extrapolação devem incluir dados coletados não mais que 0,10 s antes do tempo requerido para o ciclo de fluência e não devem exceder o tempo de 0,50 s antes do tempo requerido para o ciclo de recuperação.

6.3 Não permitir tempo de repouso entre os ciclos de fluência e recuperação, executar 20 ciclos de fluência e recuperação para uma tensão de 0,1kPa. Os primeiros 10 (dez) ciclos são para condicionamento da amostra. Os resultados obtidos dos últimos 10 (dez) ciclos são coletados para a análise de dados.

6.4 Não permitir tempo de repouso entre os ciclos de diferentes tensões nem entre os ciclos de fluência e recuperação, após os 20 (vinte) ciclos de fluência e recuperação para a tensão de 100 Pa do item 6.3, iniciar imediatamente 10 (dez) ciclos de fluência e recuperação para uma tensão de 3200 Pa. O tempo total do ensaio dos itens 6.3 e 6.4 não deve exceder 300 s.

6.5 A Figura 3 (Anexo A) mostra a representação da evolução do ensaio em termos de aplicação de carga (tensão) e da resposta em fluência e recuperação (deformação). A Figura 4 (Anexo A) mostra os dados empregados para o cálculo da recuperação de um ciclo e a Figura 5 (Anexo A) mostra os dados utilizados para estimativa da compliância não recuperável de um ciclo.

6.6 Para cada dez últimos ciclos para a tensão de 100 Pa (item 6.3) e os dez ciclos para a tensão de 3200 Pa (item 6.4) registrar os seguintes dados:

6.6.1 O valor da deformação inicial em cada ciclo de fluência será denominado de ϵ_0 .

6.6.2 O valor de deformação ao final de cada ciclo de fluência, ou seja, ao final de 1 s de cada ciclo, será denominado de ϵ_c .

6.5.3 O ajuste do valor de deformação final de cada ciclo de fluência, será calculado da seguinte forma:

$$\epsilon_1 = \epsilon_c - \epsilon_0 \quad (1)$$

6.5.4 O valor de deformação ao final do ciclo de recuperação, ou seja, ao final de 10,0s de cada ciclo, será denominado de ϵ_r .

6.5.5 O ajuste do valor de recuperação ao final do ciclo de ensaio, será calculado da seguinte forma:

$$\epsilon_{10} = \epsilon_r - \epsilon_0 \quad (2)$$

7. Resultados

7.1 Usando os resultados obtidos no item 6.6, determina-se a média percentual da deformação recuperável e não-recuperável da amostra asfáltica, por meio dos ciclos de fluência e recuperação, para cada nível de tensão de ensaio considerada (100 Pa e 3200 Pa).

7.1.1 Para cada um dos últimos 10 (dez) ciclos para a tensão de 100 Pa, calcula-se o percentual recuperável, $\epsilon_r(100; N)$, para $N = 11$ a 20:

$$\epsilon_r(100; N) = \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_{10}) \times 100}{\epsilon_1} \quad (3)$$

7.1.1.1 Se $\epsilon_r(100; N) < 0$, então $\epsilon_r(100; N)$ será 0 (zero).

NOTA 1: O percentual de recuperação medido poderá ser afetado por características como a inércia do equipamento e dados de amostragem. Esses efeitos são mais pronunciados quando a recuperação é pequena, como acontece em muitos ligantes não modificados e podem resultar numa recuperação negativa. Para âmbito deste método de ensaio uma recuperação negativa pode ser considerada como zero.

7.1.2 Para cada um dos 10 (dez) ciclos para a tensão de 3200 Pa calcula-se o percentual recuperável, $\varepsilon_r(100; N)$, para $N = 1$ a 10:

$$\varepsilon_r(3200, N) = \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_{10}) \times 100}{\varepsilon_1} \quad (4)$$

7.1.2.1 Se $\varepsilon_r(3200; N) < 0$, então $\varepsilon_r(3200; N)$ será 0 (zero).

7.1.3 O cálculo da média do percentual de recuperação para a tensão de 100 Pa, considerando os 10 ciclos de medida ou para $N = 11$ a 20:

$$R_{100} = \frac{\sum(\varepsilon_r(100; N))}{10} \quad (5)$$

7.1.4 O cálculo da média do percentual de recuperação para a tensão de 3200 Pa, considerando os 10 ciclos de medida ou para $N = 1$ a 10:

$$R_{3200} = \frac{\sum(\varepsilon_r(3200; N))}{10} \quad (6)$$

7.1.5 O cálculo da diferença das médias do percentual de recuperação entre as tensões 100 Pa e 3200 Pa:

$$R_{diff} = \frac{[(R_{100} - R_{3200}) \times 100]}{R_{100}} \quad (7)$$

7.1.6 Para cada um dos últimos 10 (dez) ciclos na tensão de 100 Pa, calcula-se a compliância não recuperável, $J_{nr}(100; N)$ em kPa^{-1} , para $N = 11$ a 20:

$$J_{nr}(100; N) = \frac{\varepsilon_{10}}{100} \quad (8)$$

7.1.6.1 Caso $\varepsilon_r(100; N)$ for menor que zero, então calcula-se $J_{nr}(100; N)$ em kPa^{-1} como:

$$J_{nr}(100; N) = \frac{\varepsilon_1}{100} \quad (9)$$

NOTA 2: Caso $\varepsilon_r(100; N)$ for negativo então a deformação de fluência ajustada a 1,0 s é o valor de deformação mais adequado para se usar quando não há recuperação.

7.1.7 Para cada um dos 10 (dez) ciclos na tensão de 3200 Pa, calcula-se a compliância não recuperável,

$J_{nr}(3200; N)$, em kPa^{-1} para $N = 1$ a 10:

$$J_{nr}(3200; N) = \frac{\varepsilon_{10}}{3200} \quad (10)$$

7.1.7.1 Caso $\varepsilon_r(3200; N)$ for menor que zero, então calcula-se $J_{nr}(3200; N)$ em kPa^{-1} como:

$$J_{nr}(3200; N) = \frac{\varepsilon_1}{3200} \quad (11)$$

7.1.8 Calcula-se a média da compliância não-recuperável, em kPa^{-1} na tensão de ensaio de 100 Pa para os últimos 10 ciclos medidos ou para $N = 11$ a 20:

$$J_{nr100} = \frac{\sum(J_{nr}(100; N))}{10} \quad (12)$$

7.1.9 Calcula-se a média da compliância não-recuperável, em kPa^{-1} na tensão de ensaio de 3200 Pa para os 10 ciclos medidos ou para $N = 1$ a 10:

$$J_{nr3200} = \frac{\sum(J_{nr}(3200; N))}{10} \quad (13)$$

7.1.10 Calcula-se o percentual de diferença da compliância não-recuperável entre as tensões 100 Pa e 3200 Pa, como:

$$J_{nr,diff} = \frac{[(J_{nr3200} - J_{nr100}) \times 100]}{J_{nr100}} \quad (14)$$

8. Relatório

O relatório deverá conter as seguintes informações:

8.1 Identificação da amostra;

8.2 Temperatura do ensaio, com uma aproximação de 0,1°C;

8.3 O valor do percentual de recuperação em (R_{100}), na tensão de 100 Pa para os últimos 10 (dez) ciclos, com aproximação de 0,1%;

8.4 O valor do percentual de recuperação em (R_{3200}), na tensão de 3200 Pa para os 10 (dez) ciclos, com aproximação de 0,1%;

8.5 O valor da diferença percentual de recuperação (R_{diff}) entre as tensões de 100 Pa e 3200 Pa em percentual, com aproximação de 0,1%;

8.6 O valor da compliância não-recuperável (J_{nr} 100) na tensão de 100 Pa para os últimos 10 (dez) ciclos com 3 (três) algarismos significativos.

8.7 O valor da compliância não-recuperável (J_{nr} 3200) na tensão de 3200 Pa para os 10 (dez) ciclos com 3 (três) algarismos significativos.

8.8 O percentual de diferença da compliância não-recuperável ($J_{nr,diff}$) entre as tensões 100 Pa e 3200 Pa, com aproximação de 0,1%.

9. Precisão e exatidão

9.1 Precisão – Os critérios para avaliar a aceitabilidade dos resultados obtidos pelo ensaio de múltiplos carregamentos de tensão seguidos de tempos de repouso estão descritos na Tabela 1 contida no Anexo A.

NOTA 3: As estimativas de precisão nesta Tabela 1 são baseadas na análise dos resultados dos testes de oito laboratórios para oito ligantes asfálticos. A análise incluiu cinco graus ligante: PG 64-22, PG 64-34, PG 70-28, PG 70-34 e PG 76-22. A média J_{nr} resultados variaram 0,061-2,498 kPa-1. Os resultados médios de recuperação variaram entre 0 e 88,3%.

9.2 Precisão para único operador (Repetibilidade) – os valores constantes na coluna 2 da Tabela 1 são coeficientes de variação apropriados para as condições de ensaio descritos na coluna 1 da referida tabela. Dois resultados obtidos em um único laboratório, pelo mesmo operador, utilizando o mesmo equipamento, no menor tempo, serão aceitos se a diferença entre os dois resultados, expressos em percentagem média, não exceder os valores descritos na coluna 2.

9.3 Precisão Multilaboratórios (Reprodutibilidade) – os valores constantes na coluna 3 da Tabela 1 são coeficientes de variação apropriados para as condições de ensaio descritos na coluna 1 da referida tabela. Dois resultados obtidos por dois diferentes operadores do ensaio, serão aceitos se a diferença entre os dois resultados, expressos em percentagem média, não exceder os valores da coluna 3.

9.4 Exatidão – Nenhuma informação pode ser apresentada com exatidão no procedimento de ensaio, porque não há material com valor de referência de material aceito disponível.

Anexo A (Normativo) - Tabela

Tabela 1 – Repetibilidade e Reprodutibilidade

Condição	Coefficiente de variação (1s%) ^A	Faixa aceitável de dois Resultados do Teste (d2s%) ^A
Precisão: único operador		
R100 (%)	2,4%	6,7%
R3200 (%)	3,0%	8,5%
J_{nr}100 (kPa⁻¹)		
> 1,00	4,6%	12,8%
0,26-1,00	5,4%	15,2%
0,10-0,25	13,7%	38,3%
<0,10 ^B	n / D	n / D
J_{nr}3200 (kPa⁻¹)		
> 1,00	5,7%	16,0%
0,26-1,00	5,5%	15,3%
0,10-0,25	9,5%	26,6%
<0,10 ^B	n / D	n / D
Precisão: Multi-laboratórios		
R100 (%)	5,4%	15,0%
R3200 (%)	6,5%	18,1%
J_{nr}100 (kPa⁻¹)		
> 1,00	9,1%	25,6%
0,26-1,00	12,7%	35,6%
0,10-0,25	16,7%	46,8%
<0,10 ^B	n / D	n / D
J_{nr}3200 (kPa⁻¹)		
> 1,00	7,9%	22,0%
0,26-1,00	13,9%	39,0%
0,10-0,25	15,2%	42,6%
<0,10 ^B	n / D	n / D

^A Estes limites representam os limites 1s% e d2s% descritas na Prática C670.

^B Para J_{nr} valores inferiores a 100 Pa⁻¹ alta variabilidade é provavelmente devido aos valores muito baixos de tensão que são medidos. Se um ligante de asfalto tem um valor inferior a 100 Pa J_{nr}⁻¹ a uma temperatura especificada, então deve-se considerar para o teste uma temperatura 6 ° C mais elevada.

Fonte: ASTM D7405-15

Anexo B (Informativo) - Ilustrações



Figura 1 – Exemplo de um reômetro de cisalhamento dinâmico

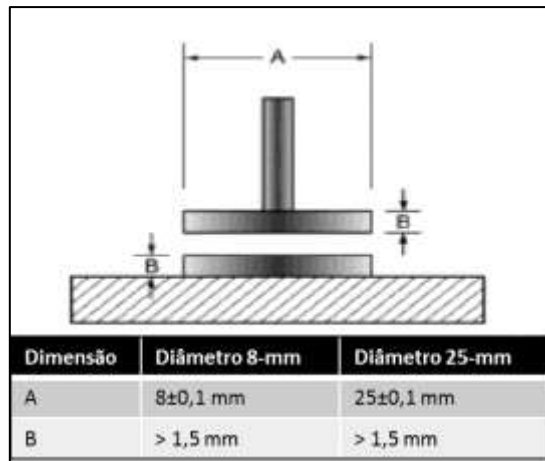


Figura 2 – Dimensões das placas de ensaio

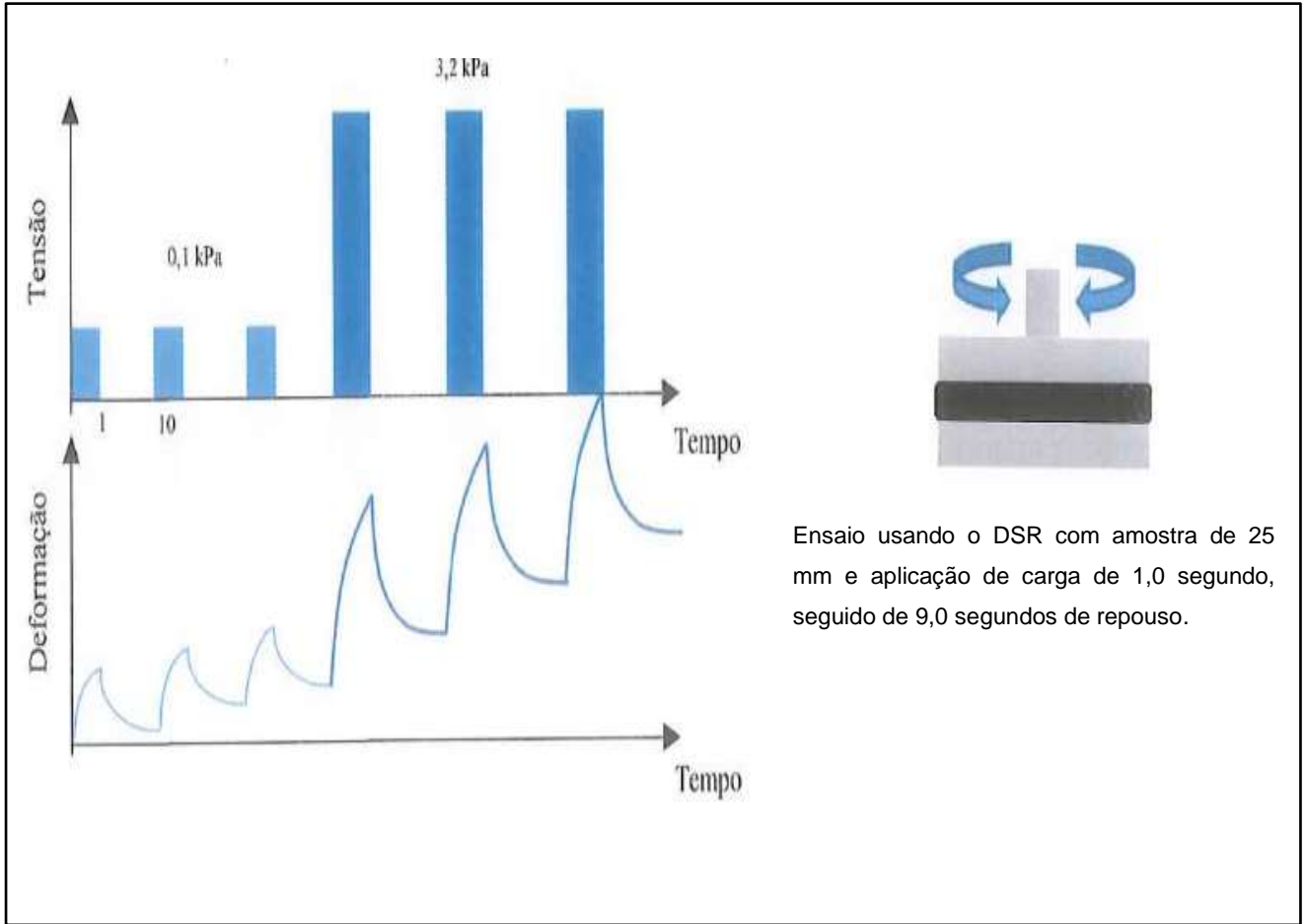


Figura 3 – Esquema de aplicação de tensão e a deformação resultante

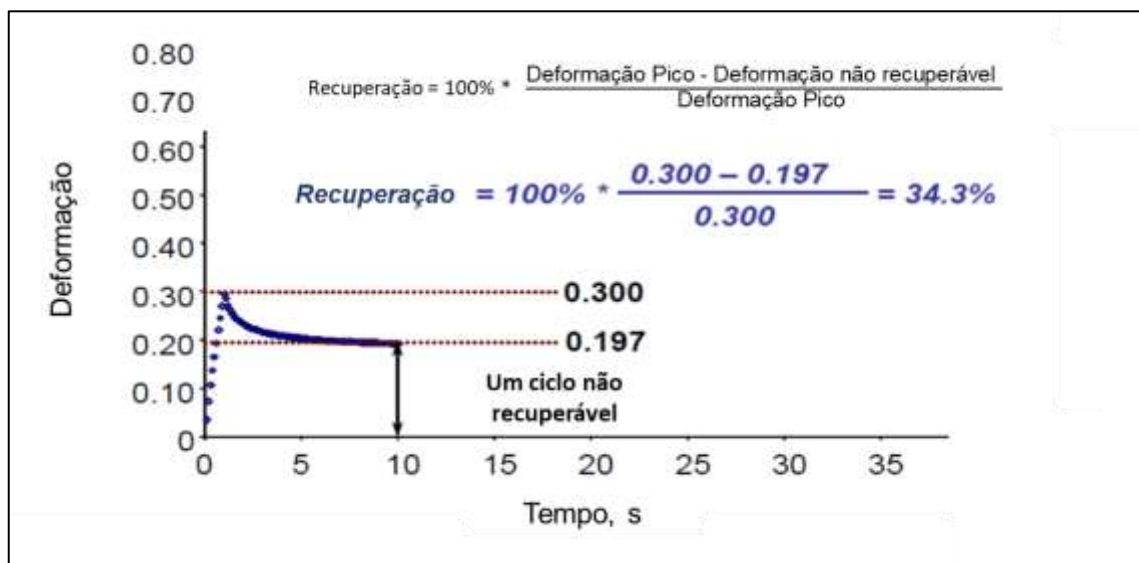


Figura 4 – Representação dos dados de um ciclo para cálculo de percentual de recuperação

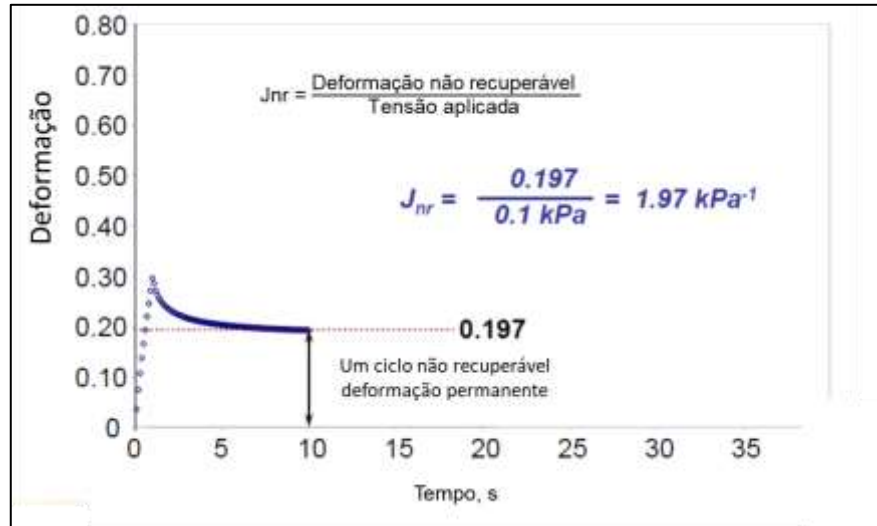


Figura 5 - Representação dos dados de um ciclo para cálculo da compliância não recuperável

Anexo C (Informativo) - Bibliografia

AASHTO M 332 Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test.

ASTM MSCR 7405-15 Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer.

ASTM C670 Standard practice for preparing precision and Bias statements for test methods for construction materials.

Domingos, M. D. I. Caracterização do comportamento fluência-recuperação de ligantes asfálticos modificados, virgens e envelhecidos. Dissertação de Mestrado USP/São Carlos, 2011.

Domingos, M. D. I. Importância dos Tempos de Fluência e Recuperação no Comportamento Reológico e na Suscetibilidade de Ligantes Asfálticos Modificados à Deformação Permanente. Tese de Doutorado. USP/São Carlos, 2017.

_____/Índice geral

Índice geral

Abstract.....	1	Índice geral.....	11
Amostra.....5.....	2	Objetivo..... 1.....	2
Anexo A (Informativo) - Tabela.....	6	Precisão/Exatidão..... 9.....	5
Anexo B (Informativo) - Ilustrações.....	7	Prefácio.....	1
Anexo C (Informativo) - Bibliografia.....	10	Referências Normativas..... 2.....	2
Aparelhagem.....4.....	2	Relatório..... 8.....	4
Compilância não-recuperável.....3.2.....	1	Resultados..... 7.....	3
Definições..... 3.....	2	Resumo.....	1
Ensaio..... 6.....	2	Sumário.....	1
Fluência e recuperação.....3.1.....	2		
