

ENSAIO DE FLUÊNCIA UNIAXIAL ESTÁTICO - AVALIAÇÃO DO EFEITO DEVIDO A REDUÇÃO DO DIÂMETRO DO PRATO DE APLICAÇÃO DE CARGA

Benedito Coutinho Neto

Coordenação de Engenharia Civil
UNAMA - Universidade da Amazônia

Glauco Tulio Pessa Fabbri

Departamento de Transportes
Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação dos parâmetros obtidos do ensaio de fluência por compressão uniaxial estática, quando realizado com o prato de carregamento superior, aproximadamente, igual ao diâmetro do corpo-de-prova (ensaio habitual) e com a redução a 50% deste valor. Segundo a literatura consultada, no ensaio habitual, somente a parcela da estabilidade referente à coesão é solicitada, contudo, no ensaio com o prato superior reduzido, por criar um pseudoconfinamento, há solicitação, também, da parcela relativa à matriz de agregados. Os corpos-de-prova foram ensaiados com carregamento de 0,4 MPa e temperatura de 40°C, com condicionamento e com duração de 60 minutos de carregamento e 15 minutos de recuperação. Os parâmetros obtidos do ensaio de fluência com prato superior reduzido, de um modo geral, foram mais favoráveis, principalmente por realçarem a presença da recuperação elástica nas misturas, além de produzir curvas de variação desses parâmetros semelhantes às obtidas do ensaio padrão.

ABSTRACT

This research presents an evaluation of the parameters obtained from the uniaxial static creep test, when accomplished with the loading superior plate approximately equal to the diameter of the specimen (usual test) and reduced at 50% of this value. According to the consulted literature, in the usual test only the portion of the stability regarding the cohesion is solicited, however, in the test with the reduced superior plate, for creating a pseudo-confinement, there is solicitation also of the component relative to the matrix of aggregate. Specimens were tested at 0.4 MPa and at 40°C, with preconditioning and duration of 60 minutes of loading and 15 of recovery. In general, The obtained parameters of the creep test with reduced superior plate were more favorable, mainly for enhance the presence of the elastic recovery in the mixtures, besides producing variation curves of those parameters similar to the curves of the usual test.

1. INTRODUÇÃO

Os principais defeitos nos pavimentos flexíveis de rodovias brasileiras são as trincas provocadas pela fadiga do revestimento asfáltico (capa) e as deformações permanentes de trilha de roda (*rutting*), que por sua vez são causadas pelas deformações plásticas que podem ocorrer em qualquer camada do pavimento. Neste trabalho é apresentado um estudo acerca de um ensaio que permite a avaliação da deformação permanente na camada asfáltica, que pode ter origem tanto por problemas de execução quanto por falhas em projetos (dosagem e/ou dimensionamento), ou ambos.

A avaliação da susceptibilidade das misturas asfálticas à deformação permanente pode ser feita através de ensaios de fluência por compressão uniaxial estática ou dinâmica, ou ainda por meio de ensaios mais sofisticados tais como os de trilha de roda (*Wheel tracking test*). Geralmente o ensaio de fluência por compressão uniaxial estática é utilizado para avaliar misturas asfálticas com asfaltos convencionais e, para o caso de misturas asfálticas com asfaltos modificados, utiliza-se o ensaio de fluência por compressão uniaxial dinâmica, visto que as mudanças nas propriedades da mistura devidas à adição do modificador no asfalto não são refletidas nos resultados dos ensaios de fluência por compressão uniaxial estática. Segundo Valkering et al. (1990), o ensaio de fluência dinâmica mostra-se mais adequado para as misturas com asfaltos modificados por permitir uma melhor avaliação dos efeitos dos modificadores na recuperação da deformação.

Como não existe uma norma que padroniza a realização dos ensaios de fluência por compressão uniaxial estática e dinâmica, há inúmeras variações no que diz respeito ao nível de tensões aplicadas, tipo de carregamento, diâmetro e altura dos corpos-de-prova, áreas dos aplicadores de carga, tempo total de ensaio, tempos de carregamento e recuperação, etc.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma avaliação do efeito da redução da área de aplicação de carga na superfície dos corpos de prova nos resultados dos ensaios de fluência por compressão uniaxial estática. A redução na área do aplicador superior de carga cria um efeito de pseudoconfinamento na amostra que, aparentemente, leva a resultados mais consistentes do ponto de vista reológico. Para essa avaliação foram ensaiadas misturas asfálticas densas, com distribuição granulométrica no centro da faixa C do DNER (atual DNIT), que têm em suas composições areia reciclada de fundição no teor de 5% em peso.

2. DEFORMAÇÃO PERMANENTE

Há dois tipos principais de defeitos que contribuem para a deterioração do pavimento: o trincamento por fadiga e o afundamento de trilha de roda (deformação permanente). Segundo Mahboub (1990), a deformação permanente de trilha de roda (*rutting*) é um dos principais defeitos dos pavimentos flexíveis, sendo causada por deformação plástica que pode ocorrer em qualquer camada do pavimento. Entretanto, a principal preocupação é com a deformação permanente na camada asfáltica, que pode ter origem tanto por problemas de execução quanto por falhas em projetos (dosagem e/ou dimensionamento) ou em ambos.

O efeito da deformação permanente é, freqüentemente, visível como depressões ao longo da trajetória das rodas dos veículos e o processo de acúmulo destas deformações é denominado de afundamento de trilhas de rodas (Drescher et al., 1993).

A forma de relacionar tensões e deformações, ou suas derivadas em relação ao tempo é por meio da equação constitutiva, que, em conjunto com as equações de equilíbrio ou de movimento e as condições de contorno, permitem a avaliação da reposta estrutural do pavimento, tanto analítica, quanto numericamente. Dentre as várias formas de relacioná-las na equação constitutiva, uma que oferece bom resultado é considerar o pavimento com comportamento visco-elasto-plástico. Desta forma, a deformação é constituída de uma porção elástica, uma viscosa e uma plástica. As deformações de origem elástica são totalmente recuperáveis e independem do tempo, enquanto as viscosas são irre recuperáveis (permanentes) e dependem do tempo, isto é, a sua magnitude depende da duração e da taxa de carregamento. As deformações plásticas são permanentes e independem do tempo. Assim, as deformações permanentes (afundamento de trilhas de rodas) são resultantes das propriedades viscosas e plásticas dos materiais que compõem o pavimento (Drescher et al., 1993).

Segundo Van de Loo (1974), a consideração de novos métodos de ensaio para avaliação da suscetibilidade à deformação permanente fazia-se necessária, visto que os existentes, assim como o ensaio Marshall para concreto asfáltico, têm limitações no que diz respeito à avaliação e projeto de misturas, embora sejam úteis para fins de controle, são empíricos e não são aplicáveis para todos os tipos de mistura. Para este pesquisador, as propriedades de estabilidade de uma mistura asfáltica não são bem definidas, mas podem ser expressas como a resistência de uma mistura, quando em um pavimento, à formação de trilhas de rodas, isto é, sob condições variáveis de clima, densidade de tráfego e carregamento. É muito comum que pavimentos projetados pelo método Marshall mostrem um comportamento insatisfatório

quanto à estabilidade. Assim, era necessário encontrar um método de ensaio de laboratório que permitisse a previsão da ocorrência da deformação permanente no pavimento. Assim, foi desenvolvido um programa de pesquisa que consistiu de três estágios, a saber:

- A. desenvolvimento de modelos teóricos (Hills, 1973);
- B. correlação desses modelos com os ensaios de fluência por compressão uniaxial estática sem confinamento (Hills, 1973);
- C. correlação dos resultados do ensaio de fluência com experimentos laboratoriais de avaliação da deformação permanente.

Segundo a pesquisa de Anani et al. (1990), as propriedades das misturas têm mais influência na susceptibilidade a trilhas de rodas do que as propriedades dos materiais constituintes (asfalto ou agregado) isoladamente, e que apesar de muitas pesquisas indicarem que as deformações plásticas ocorrem na capa, basicamente, esta revelou que a base tem uma contribuição significativa na deformação permanente dos pavimentos asfálticos.

Segundo Jimenez (1993), o programa de computador ASPHALT objetiva estimar um teor de asfalto com o intuito de diminuir a possibilidade de ocorrência de problemas de deformação de trilhas de rodas (por fluência) e garantir uma durabilidade satisfatória para a camada asfáltica. Alcançar este equilíbrio no teor asfáltico é uma tarefa complexa, visto que para diminuir o problema de trilhas de rodas é necessário um teor baixo e para garantir a durabilidade, necessita-se de um teor alto. Este *software* simula uma mistura submetida ao tráfego por cinco anos que, segundo Jimenez (1993), é a idade em que o pavimento apresenta suas propriedades físicas estabilizadas e que a camada asfáltica com esta idade, apresentando teor de vazios maior do que 2%, não exibe afundamento de trilhas de rodas. Em relação à durabilidade, com cinco anos, a espessura da película asfáltica deve estar na faixa de 6 a 12 μm para apresentar boa resistência ao fissuramento e ao descolamento (*stripping*). O agregado, entre outras propriedades, deve apresentar uma absorção de água menor que 2,5% e uma absorção de asfalto, em média, de 0,6 a 0,7%.

Segundo Ulmgren (1996), o *Wheel tracking test* tem demonstrado (dependendo da variante do método) uma boa correlação com as deformações permanentes medidas no campo, contudo é um tanto complicado para executar e outros ensaios mais simples devem ser pesquisados para substituí-lo. Com esta finalidade, este autor realizou um estudo comparando os resultados obtidos do ensaio de *Wheel tracking test* com os obtidos do de fluência por compressão uniaxial dinâmica, executado nas seguintes condições:

1. ensaio padrão, onde, tanto o corpo-de-prova (CP) quanto o prato superior do equipamento têm 100 mm de diâmetro;
2. corpo-de-prova com 150 mm de diâmetro e prato com 100 mm;
3. corpo-de-prova com 150 mm de diâmetro e prato com 100 mm, com confinamento lateral;
4. corpo-de-prova com 150 mm de diâmetro e prato com 50 mm;
5. corpo-de-prova com 150 mm de diâmetro e prato com 50 mm, com confinamento lateral.

Os resultados obtidos dos ensaios com os pratos superiores reduzidos, sem confinamento lateral (condições 2 e 4), foram os melhores. O coeficiente de correlação foi de 0,91 ($R^2 = 0,83$), tanto para o prato superior com 100 mm de diâmetro quanto para o de 50 mm, contudo, para o procedimento padrão (condição 1), o coeficiente de correlação foi o mais

baixo, 0,36 ($R^2 = 0,13$). Nas condições 3 e 5, os coeficientes de correlação foram, respectivamente, 0,63 ($R^2 = 0,40$) e 0,82 ($R^2 = 0,67$).

Segundo Ulmgren (1997), o método padrão de ensaio de compressão uniaxial (condição 1) subestima o desempenho das misturas, visto que a estabilidade não advém somente das forças de coesão, mas também do atrito interno entre os agregados (maior parcela), produzindo uma correlação pobre entre os resultados obtidos neste padrão de ensaio e o desempenho real dos pavimentos asfálticos. Os pratos superiores reduzidos (menores do que o diâmetro do CP) criam uma pressão lateral (falso confinamento), fazendo com que haja a adição da componente do atrito interno entre os agregados à coesão, avaliando assim a estabilidade integralmente.

3. ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTÁTICA

Este ensaio tem sido utilizado para estimar a susceptibilidade das misturas asfálticas convencionais à deformação permanente sob diferentes condições de carregamento e temperatura. O trabalho pioneiro neste sentido é o dos pesquisadores da SHELL, sendo que o modelo teórico para este ensaio foi desenvolvido por Hills (1973). Valkering et al. (1990) confirmaram a validade deste ensaio como uma das formas de prever a resistência à deformação permanente de misturas asfálticas com ligantes convencionais. Estes pesquisadores observaram, também, que o acréscimo de estabilidade na mistura devido à adição de um modificador que, no caso, foi o CARIFLEX TR-1101, não era refletido nos resultados do ensaio de fluência por compressão uniaxial estática. Isto acontece em virtude dos cimentos asfálticos com ou sem polímeros serem reologicamente diferentes, diferença essa que não é caracterizada por este ensaio. O ensaio de *creep* dinâmico mostra-se mais adequado para misturas com asfaltos modificados, visto que permite aquilatar os efeitos da recuperação da deformação causados pelos modificadores.

De Hilster e Van de Loo (1977) desenvolveram um método (SHELL) para a avaliação do potencial das misturas asfálticas à deformação permanente de trilha de roda, com base no ensaio de fluência por compressão uniaxial estática. Os dados obtidos neste ensaio são utilizados como entrada em um procedimento para estimar a deformação permanente no pavimento. Para esta avaliação devem ser preparados pelo menos dois corpos-de-prova (CPs) para cada amostra analisada (combinação de agregado e tipo ou teor de asfalto), que podem ser compactados pelo método Marshall (recomendam-se CPs com dimensões 4" ($\cong 101,6$ mm) de diâmetro por 2,5" ($\cong 63,5$ mm) de altura – formato Marshall). O número de corpos-de-prova é em função da repetibilidade desejada, que depende de alguns parâmetros, tais como tipo de equipamento, método de compactação, atrito da superfície de contato do corpo-de-prova (polimento) com o prato do equipamento, etc. O corpo-de-prova deve ser ensaiado por 3600 s, numa temperatura de 40°C e com uma tensão de 1kgf/cm².

Little et al. (1993) desenvolveram critérios para avaliar o potencial do concreto asfáltico à deformação permanente por meio do ensaio de fluência por compressão uniaxial, que, segundo eles, é eficaz para identificar a sensibilidade das misturas de concreto asfáltico à deformação permanente ou ao afundamento de trilhas de rodas. Este ensaio apresenta sensibilidade às variáveis da mistura, tais como: tipo de asfalto, teor de ligante, tipo de agregado, teor de vazios, temperatura de ensaio e estado de tensões. Para tanto, o ensaio deve ser realizado em condições de temperatura e nível de tensão próximos das observadas no campo: a temperatura deve ser de 40°C, tensão na faixa de 3,5 a 4,15 kgf/cm² (adequadas na

maioria dos casos) e a duração do ensaio é de uma hora. Os dados obtidos do ensaio de *Creep*, que são bons indicadores da sensibilidade à deformação permanente da mistura, segundo esses autores, são: deformação total para uma hora de carregamento (ϵ_p), inclinação do estágio secundário da curva deformação *versus* tempo de carregamento (m), em escala log-log, e o módulo de fluência (S_c). O estágio secundário (trecho de fluência constante) é determinado entre 1000 e 3600 segundos. A Figura 1 apresenta uma configuração dos estágios da fluência, referentes a um ensaio de *fluência* por compressão uniaxial (Little et al., 1993). O estágio primário é caracterizado pelo crescimento da taxa de deformação, enquanto no secundário ou de fluência uniforme, a taxa de deformação é aproximadamente constante (ângulo de inclinação constante); já no estágio terciário ou de colapso, a taxa de deformação torna a crescer rapidamente até a ruptura do corpo-de-prova.

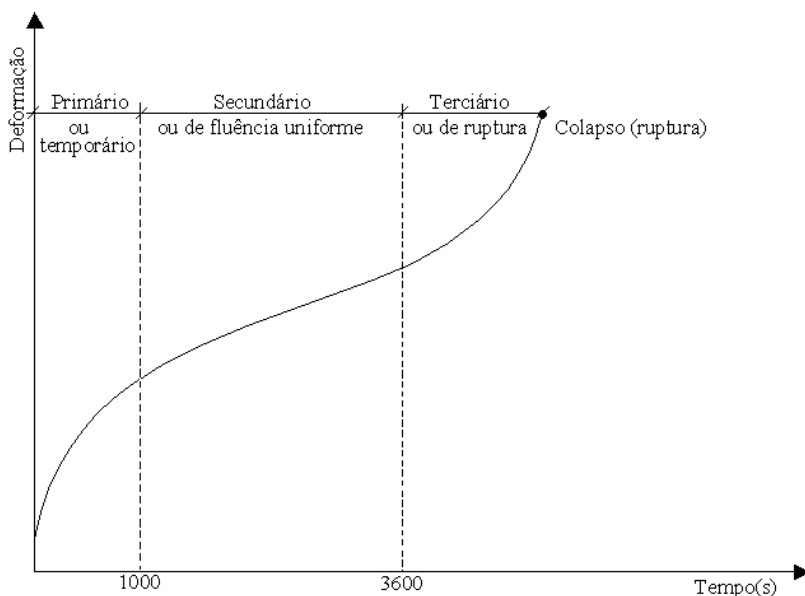


Figura 1: Estágios da curva de fluência (adaptado de Little et al., 1993)

O método proposto por De Hilster e Van de Loo (1977) e o proposto por Little et al. (1993) discordam, apenas, no que diz respeito à tensão, que para os primeiros autores deve ser de 1 kgf/cm^2 e para os últimos deve ser mais alta ($3,5$ a $4,15 \text{ kgf/cm}^2$), a fim de compatibilizar, de forma mais adequada, com a que ocorre no campo.

Vianna et al. (2003) apresentaram uma técnica alternativa para a medida das deformações durante o ensaio de *fluência por compressão uniaxial* estática. Nesta alternativa, as irregularidades das faces do corpo-de-prova não produzem efeito na medida das deformações, visto que o registro dos deslocamentos é feito entre pontos (próximos às faces) localizados ao longo do corpo-de-prova, e não na superfície. Desta forma, a preocupação com as irregularidades das faces deve ser apenas com a distribuição do carregamento.

4. MÉTODO DE TRABALHO

O ensaio de fluência por compressão uniaxial estática foi realizado com a finalidade de verificar a suscetibilidade da massa asfáltica em resistir ao acúmulo de deformação permanente (afundamento de trilha de roda). Os ensaios estáticos têm por objetivo a simulação do efeito de cargas com aplicação de grande duração ou estática sobre o pavimento, como, por exemplo, veículos estacionados, ou ainda, simular a quantidade de repetições de carga durante o período de ensaio (carregado), sem considerar o tempo de descarregamento.

Nesta pesquisa foi utilizada uma prensa composta de sistema pneumático, com temperatura controlada por meio de um dispositivo automático conectado a uma fonte de calor e um microcomputador para a aquisição de dados. Para evitar a dissipação de calor, a prensa foi colocada dentro de uma câmara, dotada de abertura para permitir o manuseio (colocação e retirada) do corpo-de-prova (Figura 2). Este equipamento dispõe de medidores dos tipos célula de carga e LVDT (*Linear Variable Differential Transducer*), que permitem o registro eletrônico das cargas e deslocamentos, bem como o processamento dos resultados e obtenção da curva de fluência, tornando, desta forma, todo o procedimento mais rápido e eficaz. Para tanto foi utilizado um programa aplicativo em *Labview*, versão 6.0 para *Windows*, desenvolvido no Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos/USP. Os corpos-de-prova utilizados na pesquisa são oriundos de misturas asfálticas densas, dosadas e compactadas pelo processo Marshall (DNER-ME 043/95). O ligante asfáltico empregado é o CAP 20 e o agregado é composto de pedra 5/8", pedrisco, areia de fundição (fenólica) e pó-de-pedra, de forma a se enquadrar na faixa "C" de Rolamento do DNER, atual DNIT, (ES 313/97).

Os ensaios foram realizados na temperatura de 40°C e com nível de tensão de 4 kgf/cm² (0,4 MPa), conforme intervalo de tensões proposto por Little et al. (1993). O ensaio foi executado com o prato superior de carregamento em tamanho habitual, de aproximadamente 102 mm de diâmetro (Figura 2a), e em tamanho reduzido, de 51 mm de diâmetro (Figura 2b).

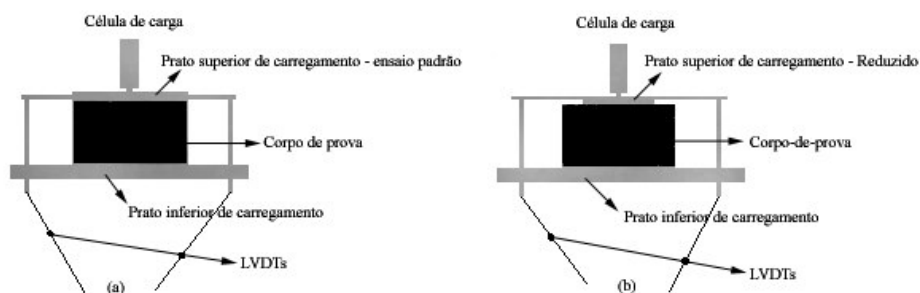


Figura 2: Croquis - ensaios de fluência por compressão uniaxial estática

Os procedimentos para o ensaio de fluência por compressão axial estático, com base em trabalhos publicados (De Hilster e Van de Loo, 1977 (SHELL); Von Quintus et al., 1991 (AAMAS); Little et al., 1993; Coelho, 1996; Mugayar, 2003), em linhas gerais, são:

- 1) preparação dos corpos-de-prova para o ensaio (polimento e medições);

- } condicionamento em estufa, na temperatura prevista para o ensaio, comumente, 40°C, por um período que garanta a uniformidade da temperatura em todo o corpo-de-prova, geralmente, 6 horas;
- } condicionamento– dois minutos de aplicação do nível de tensão de ensaio (carga de ensaio), seguido de um período de descarregamento ou recuperação do corpo-de-prova de cinco minutos;
- } imediatamente após o período de recuperação, inicia-se o ensaio, submetendo os corpos de prova aos parâmetros de ensaio preestabelecidos (nível de tensão e temperatura) durante 60 minutos, enquanto os deslocamentos são medidos e gravados em intervalos de tempo regulares e prefixados;
- } após esse período, o corpo-de-prova é descarregado automaticamente e inicia-se o período de recuperação, com duração de 15 minutos, sendo os deslocamentos também registrados;
- } Os parâmetros deformação (ϵ) (para qualquer tempo de ensaio) , inclinação do estado secundário da curva deformação versus tempo de carregamento (m), recuperação elástica (R) e módulo de fluência (ao final do carregamento ou após a recuperação, S_c) são calculados, respectivamente, pelas expressões 1, 2, 3 e 4. O estágio secundário (trecho de fluência constante) é determinado entre 1000 e 3600 segundos.

$$\epsilon_t = \frac{\Delta h_t}{h_o} \quad (1)$$

$$m = \frac{\log \epsilon_{3600} - \log \epsilon_{1000}}{0,5563} \quad (2)$$

$$R = \frac{\epsilon_{3600} - \epsilon_{vp}}{\epsilon_{3600}} \quad (3)$$

$$S_c = \frac{\sigma}{\epsilon_t} \quad (4)$$

onde:

ϵ_t , ϵ_{1000} , ϵ_{3600} , ϵ_{vp} - deformação axial específica, respectivamente, em qualquer instante t ; para 1000 e 3600 segundos de ensaio, e visco-plástica (após a recuperação);

Δh_t - variação da altura do corpo-de-prova em qualquer instante t (mm);

h_o - medida inicial da altura do corpo-de-prova (mm);

R - recuperação elástica;

σ - nível de tensão do ensaio.

Vale ressaltar que as medidas dos deslocamentos foram realizadas da forma tradicional e não como sugerido por Vianna et al (2003), visto que os ensaios foram executados antes da publicação da pesquisa dos referidos autores.

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os parâmetros avaliados no ensaio de fluência foram: deformação total (3600 s), inclinação da curva de fluência no estágio secundário (entre 1000 e 3600 s), recuperação, módulos de fluência para 3600 s de ensaio e para 4500 s (após a recuperação).

Os gráficos das Figuras 3 a 7 são referentes aos resultados das misturas estudadas, considerando a tensão de ensaio de 4 kgf/cm² e prato de distribuição de carregamento com diâmetro de 102 mm (aproximadamente igual ao do corpo-de-prova) e 51 mm (diâmetro reduzido). Em cada gráfico visualizam-se, simultaneamente, os parâmetros relativos aos pratos superiores de distribuição de carregamento normal e reduzido. Os gráficos das Figuras 3, 4 e 5 referem-se, respectivamente, à deformação total, à recuperação e à inclinação do estado secundário da curva de fluência, enquanto nos gráficos das Figuras 6 e 7, expõem-se, respectivamente, os módulos de fluência, antes da recuperação (3600 s) e após a recuperação (4500 s) para as misturas avaliadas.

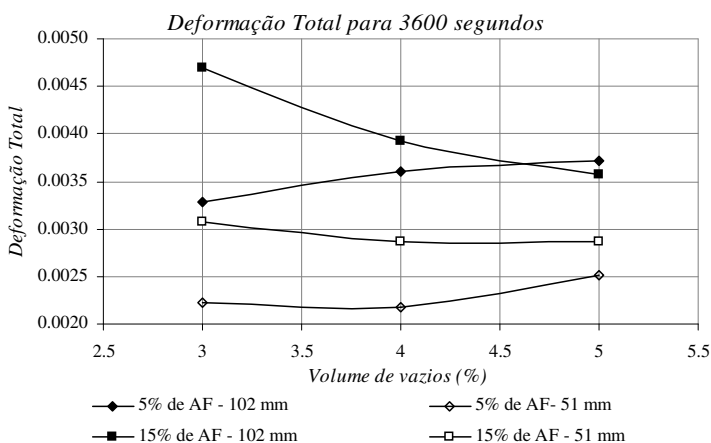


Figura 3: Deformação total – Pratos Normal e Reduzido

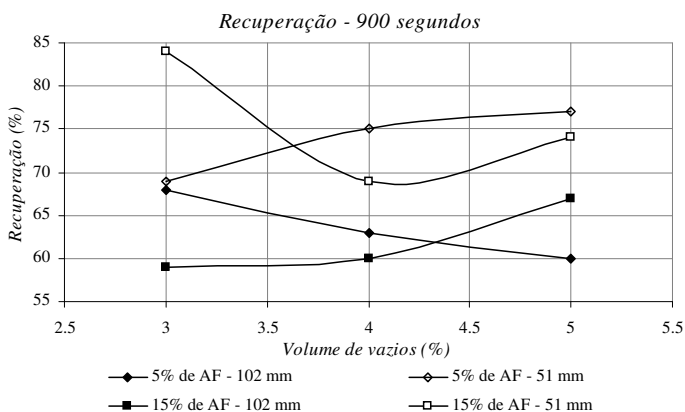


Figura 4: Recuperação elástica da deformação- Pratos Normal e Reduzido

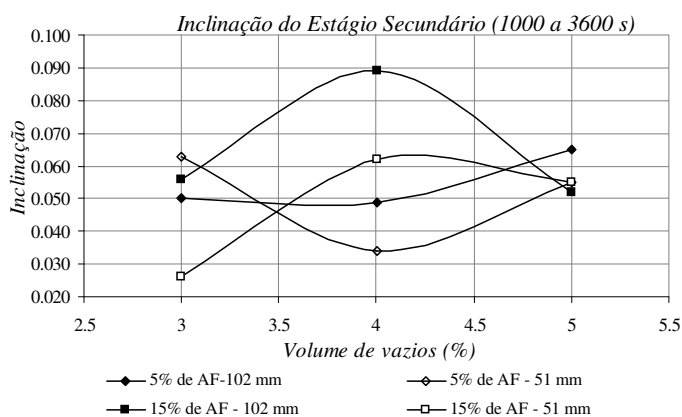


Figura 5: Inclinação do estágio secundário – Pratos Normal e Reduzido

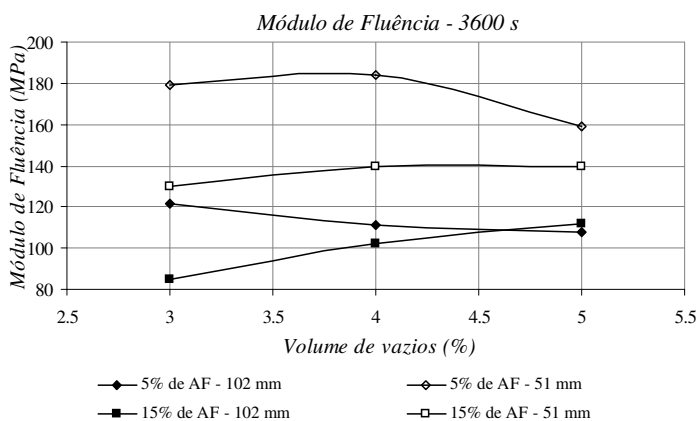


Figura 6: Módulo de fluência antes da recuperação – Pratos Normal e Reduzido

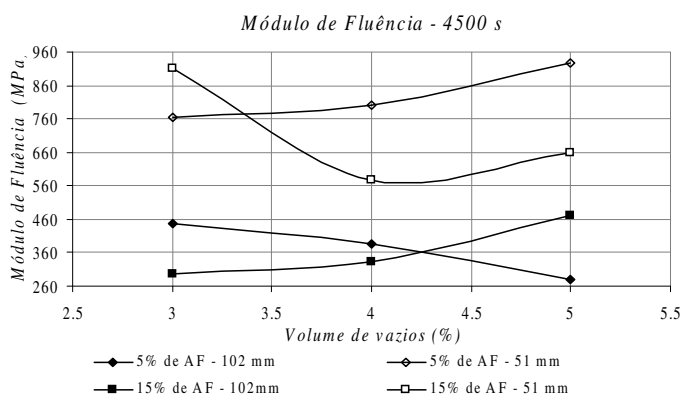


Figura 7: Módulo de fluência, após a recuperação – Pratos Normal e Reduzido

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Analisando-se os parâmetros extraídos dos ensaios de fluência por compressão uniaxial estática nota-se que no caso da deformação total (recuperável mais visco-plástica), apresentada na Figura 3, os valores obtidos dos ensaios com o prato de dimensões reduzidas são sempre menores, variando de 61 até 81% em relação aos obtidos com o prato padrão, maiores, entretanto, que a relação entre as áreas dos pratos experimentados. Além disso, as curvas não apresentam tendências similares, com menores variações nas deformações totais para os ensaios executados com o prato de dimensões reduzidas, independentemente do teor de areia contido na mistura em análise.

Já na Figura 4, onde se expõem as recuperações elásticas, nota-se que os valores obtidos dos ensaios com prato de dimensões reduzidas são bastante altos em relação aos obtidos com o prato padrão (entre 1,01 e 1,42 vezes), exceto para a mistura com 5% de areia de fundição com 3% de vazios em que estes valores são muito próximos (68 e 69 MPa). Esses resultados demonstram que a recuperação elástica, avaliada com o ensaio com prato de dimensões reduzidas, mostra-se mais presente, com valores maiores, indicando que deve haver contribuição de algum fator, possivelmente advindo do pseudoconfinamento do corpo-de-prova ou da resposta da matriz granular, não aquilatado no ensaio quando efetuado com o prato padrão.

No caso das inclinações dos estágios secundários das curvas de fluência por compressão uniaxial estática (Figura 5), percebe-se que as tendências (formas) das curvas são muito parecidas para os resultados obtidos dos ensaios com ambos os pratos, porém, no caso dos ensaios com prato reduzido, os valores das inclinações são, quase sempre, menores (quatro casos em seis), indicando que a deformação processa-se mais lentamente nesses casos.

Os módulos de fluência obtidos dos ensaios com prato reduzido foram sempre maiores que os obtidos com prato padrão, independente do volume de vazios e da mistura considerada. No caso do módulo de fluência obtido após o carregamento (3600 s), os referentes ao prato reduzido são 1,24 a 1,66 vezes maiores que os provenientes dos ensaios com prato padrão. Já no caso dos módulos de fluência calculados após o período de recuperação elástica, os valores oriundos dos ensaios com prato reduzido são substancialmente maiores, variando de 1,39 até 3,31 vezes os obtidos com o prato padrão, ressaltando o efeito da recuperação elástica evidenciada no ensaio efetuado com o prato de dimensões reduzidas.

Deve-se ressaltar ainda que foram testadas outras duas misturas asfálticas contendo areias, virgem e de fundição, em teores equivalentes a 10% em peso, e que os resultados são semelhantes aos apresentados nesse trabalho.

7. CONCLUSÃO

De um modo geral, os parâmetros obtidos do ensaio de fluência por compressão uniaxial estática com prato superior reduzido (deformação total, recuperação, inclinação do estágio secundário e módulos de fluência) foram mais favoráveis, principalmente por realçarem a presença da recuperação elástica nas misturas, além de produzir curvas de variação desses parâmetros semelhantes às obtidas do ensaio padrão. Segundo Ulmgren (1997), no ensaio com o prato superior reduzido a componente da estabilidade representada pelo atrito interno do agregado é solicitada, o que não acontece com os ensaio realizados com o prato superior normal, o que parece ter sido confirmado através dos resultados aqui apresentados.

Como recomendação, sugere-se que os testes com pratos de dimensões reduzidas sejam estendidos a outros tipos de misturas asfálticas e que também seja testada a possibilidade de

reduzir o prato inferior, produzindo, então, um pseudoconfinamento nas superfícies inferior e superior do corpo-de-prova.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade da Amazônia (UNAMA), à Fundação Instituto para o Desenvolvimento da Amazônia (FIDESA) e ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará (CEFET-PA) pelos suportes financeiros para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anani, B. A. et al. (1990) Laboratory and field study of pavement rutting in Saudi Arabia. *Transportation Research Record*, n. 1259, p. 79-90.
- Coelho, V. (1996) Contribuição ao estudo das deformações permanentes, nas condições do Brasil, em camada de concreto asfáltico de pavimentação. 281p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos.
- De Hilster, E. e P. J. Van de Loo (1977) The creep test: influence of teste parameters. *Report, Shell Laboratories, Amsterdam, The Netherlands*.
- DNER. (1995) *ME 043*: Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1997) *ES-313*: Pavimentação – concreto betuminoso. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- Drescher, A.; J. R. Kim e D. E. Newcomb (1993) Permanent deformation in asphalt concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 5, n. 1, p. 112-128.
- Hills, J. F. (1973) The creep of asphalt mixes. *Journal of the Institute of Petroleum*, vol. 59, n. 570, p. 247-262.
- Jimenez, R. A. (1993) *ASPHALT*: Mixture design meted to minimize rutting. *Transportation Research Record*, n. 1417, p. 109-116.
- Little, D. N.; J. W. Button e H. Youssef (1993) Development of criteria to evaluate uniaxial creep data and asphalt concrete permanent deformation potential. *Transportation Research Record*, n. 1417, p. 49-57.
- Mahboub, K. (1990) Asphalt concrete creep as related to rutting. *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 2, n. 3, p. 147-163.
- Mugayar, A. N. (2004) Avaliação dos efeitos do tipo de asfalto e da distribuição granulométrica do agregado nas fluências estática e dinâmica de misturas asfálticas densas. 116p. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos.
- Ulmgren, N. (1996) Functional testing of asphalt mixes for permanent deformation by dynamic creep test modification of method and round robin test. *EAPA/Eurobitume Congress*, Strasbourg.
- Ulmgren, N. (1997) Dynamic creep test - validation of modified (Swedish) method by comparison with wheel tracking test. *EAPA/Eurobitume Congress*, Strasbourg.
- Valkering, C. P.; D. J. L. Lancon; E. de Hilster e D. A. Stoker (1990) *Rutting resistance of asphalt mixes containing non-conventional and polymer-modified binders*. Symposium – Improved Rut Resistance, Association of Asphalt Paving Technologists (AAPT), Proceedings, p. 590-609.
- Van de Loo, P. J. (1974) *Creep testing, a simple tool to judge asphalt mix stability*. Association of Asphalt Paving Technologists (AAPT), Proceedings, vol. 43, p. 117-153.
- Vianna, A. A. D.; L. M. G. Motta, e R. G. Domingues (2003) Ensaio de Compressão Axial de CBUQ – Uma Nova Técnica de Medição das Deformações. *Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro, v. 1, p. 30-40.
- Von quintus, H. L.; J.A. Scherocman; C. S. Hughes e T. W. Kennedy (1991) Asphalt-aggregate mixture analysis systems (AAMAS). Washington. D.C., Publ. *Transportation Research Board, NCHRP Report 338*.

Endereço dos autores:

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de S. Carlos, Depto. de Transportes
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – Centro
1356-590 – S. Carlos, SP, Brazil

Fone: (16)3373-9609
Fax: (16)3373-9602
E-mail: bcoutin@sc.usp.br e glauco@sc.usp.br