



26º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE UM MISTURA ASFÁLTICA COM ALTA RESISTÊNCIA A FADIGA

Anna Clara Nascimento de Abreu¹, Fernando Silva Albuquerque².

RESUMO

Um dos maiores desafios na pavimentação é melhorar o desempenho estrutural de um pavimento, possibilitando a maior vida útil possível com a minimização de falhas mecânicas como trincas por fadiga, que são geradas devido ao fluxo de veículos pesados na via. Quanto maior esse fluxo e mais pesados os veículos, maiores são essas tensões e maiores são as chances de danos ao pavimento. A ampliação da vida de fadiga de uma mistura asfáltica ajuda a prevenir esse tipo de problema, sendo possível otimizar o dimensionamento da estrutura do pavimento, gerando conforto aos usuários e economia em sua manutenção. O presente estudo tem como objetivo comparar três métodos de dosagem de misturas asfálticas de alta resistência à fadiga e estudar o comportamento das misturas resultantes, analisando também o impacto que os fatores como volume de vazios, granulometria e teor de ligante tem sobre a vida de fadiga. As misturas dosadas não apresentaram valores de módulo de resiliência distintos do usual. O melhor desempenho no ensaio de vida de fadiga para tensões de tração elevadas aconteceu para a mistura com granulometria densa, mas com menor percentual de cimento asfáltico de petróleo entre as três avaliadas (4% Vv e cerca de 5,17% de CAP). Já as misturas com maiores teores de CAP (3% de Vv e 5,55% de CAP; e 0,5% a mais de CAP, resultando em 2,69% de Vv e 5,67% de CAP) tiveram melhores desempenhos para baixas tensões de tração.

PALAVRAS-CHAVE: Mistura asfáltica resistente à fadiga; mistura asfáltica de alta densidade; vida de fadiga.

ABSTRACT

One of the biggest challenges in pavement engineering is enhancing the structural performance of a pavement, aiming for the longest possible service life while minimizing mechanical failures such as fatigue cracks, which are generated due to heavy traffic flow on the road. The higher the traffic flow and the heavier the vehicles, the greater the stresses and the higher the chances of pavement damage. Extending the fatigue life of an asphalt mixture helps prevent such problems, enabling optimization of pavement structure design, providing comfort to users, and saving on maintenance costs. This study aims to compare three methods of asphalt mixture design for high fatigue resistance and investigate the behavior of the resulting mixtures, also analyzing the impact of factors such as void volume, granulometry, and binder content on fatigue life. The dosed mixtures did not show significantly different resilient modulus values from the norm. The best performance in the fatigue life test for high tensile stresses occurred for the mixture with high particle density but with a lower percentage of petroleum asphalt cement among the three evaluated (4% void volume and approximately 5.17% of CAP). On the other hand, mixtures with higher CAP contents (3% void volume and 5.55% of CAP; and an additional 0.5% of CAP, resulting in 2.69% void volume and 5.67% of CAP) performed better for low tensile stresses.

KEY WORDS: Fatigue-resistant asphalt mixture; high-density asphalt mixture; fatigue life.

¹ Universidade Federal de Sergipe – UFS. e-mail: claireabreu@hotmail.com; albuquerque.f.s@academico.ufs.br



INTRODUÇÃO

No Brasil, o modal rodoviário é responsável por grande parte do transporte de cargas e pelo deslocamento de pessoas. De acordo com o boletim da Pesquisa CNT de Rodovias (2022), o modal rodoviário brasileiro é responsável por 65% da movimentação de mercadorias e de 95% da de passageiros, mas apenas 44,5% da extensão da malha rodoviária pode ser enquadrada num estado ótimo ou bom. Vale ressaltar que, da extensão de vias defeituosas, 40,6% apresentavam problemas estruturais, como trincamento, deformação plástica ou deterioração total.

Segundo Bernucci et al. (2008), compete ao projetista dimensionar pavimentos seguros, e que ofereçam conforto e segurança aos usuários. Contudo, é requerido ainda que o projeto de tal estrutura deva garantir o máximo desempenho funcional e estrutural do pavimento durante o período de projeto, apresentando a melhor relação benefício/custo possível.

O projeto de misturas asfálticas no Brasil é geralmente feito por dosagem Marshall (DNER-ME 043/95), que é um processo de análise volumétrica bem criterioso e com o uso de curvas granulométricas pré-definidas, mas sem avaliação do comportamento mecânico de forma racional. A interação entre o esqueleto pétreo e o ligante asfáltico não é avaliada, nem como podem ser utilizadas para a finalidade de resistir aos esforços repetitivos causadores de trincamentos por fadiga. Em contrapartida, vale citar aqui várias iniciativas que surgiram nos Estados Unidos nos últimos 40 anos, como a dosagem Superpave e o mais recente Balanced mix design, que focam no aprimoramento de características físicas da mistura que impactam nos seus desempenhos mecânicos.

Trincas são danos à estrutura de um pavimento, que surgem geralmente devido a fadiga de uma camada cimentada. Caracteriza-se por um processo de ruptura ou perda excessiva de rigidez que ocorre quando o material é solicitado repetidamente por carregamentos durante uma quantidade suficiente de vezes ao longo do tempo (HUANG, 2004).

O surgimento de trincas por fadiga em um pavimento é considerado um dano estrutural que inicia uma série de defeitos funcionais ao pavimento. Uma vez o revestimento de um pavimento trincado, as águas das chuvas infiltrarão nas trincas, podendo promover erosão e formação de panelas, bem como deformações plásticas em camadas inferiores, por perda de desempenho mecânico com o aumento da umidade (MEDINA *et al.*, 2015).

O estudo da vida de fadiga em um pavimento ajuda a prevenir esse tipo de problema, sendo possível projetar um pavimento de forma racional com uma vida de serviço otimizada. Além disso, um dos benefícios é a geração de conforto aos usuários da via, e economia na diminuição do uso de recursos naturais e gastos com manutenções ao longo do tempo.

Misturas asfálticas de alta resistência à fadiga são especialmente indicadas para concepções de pavimentos perpétuos (NEWCOMB *et al.*, 2001; S GIREESH KUMAR *et al.*, 2018). Elas são aplicadas na sub-base dessas estruturas constituídas por três camadas de misturas asfálticas com finalidades distintas. A sub-base dos pavimentos perpétuos é a camada destinada a absorver os esforços de tração da estrutura. Para atingir ao objetivo de uma camada de alta resistência à fadiga, o principal fator alterado é a maior quantidade de ligante asfáltico usado. Embora não haja uma padronização de processo para esse objetivo, há três estratégias normalmente utilizadas para esse fim em diretrizes para concepção de pavimentos perpétuos (NEWCOMB *et al.*, 2010): a) utilização de esqueleto granulométrico de alta densidade; b) redução do índice de vazios da mistura; e c) adição de certa quantidade de ligante asfáltico à mistura previamente dosada.



A presente pesquisa teve como objetivo comparar o desempenho à fadiga de três misturas asfálticas dosadas a partir de cada uma das diretrizes citadas anteriormente (NEWCOMB *et al.*, 2010) com o desempenho à fadiga de uma mistura asfáltica dosada com granulometria enquadrada na faixa B do DNIT 031/2006-ES e 4% de vazios.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item é realizada uma breve revisão bibliográfica sobre misturas de alta resistência à fadiga apropriadas aos pavimentos perpétuos.

A técnica de pavimentação perpétua surgiu por volta dos anos 2000, com a intenção de aumentar o tempo de vida útil da pavimentação em 50 anos e reduzir custos como reconstrução. Isso é possível devido a sua elevada resistência, havendo assim pouca necessidade de reparos profundos e manutenções, reduzindo custos, além de baixa utilização de materiais, sendo possível a reciclagem de materiais retirados nas manutenções (NEWCOMB *et al.*, 2010).

Nessas estruturas, cada uma das três camadas asfálticas do pavimento perpétuo tem uma função diferente. O revestimento é dedicado a sofrer desgaste causado pelo contato pneu-pavimento e não tem função estrutural. A base asfáltica de alto módulo é dedicada a conter as deformações permanentes. Já a camada asfáltica de sub-base tem função de resistir aos esforços de tração predominantes nela, sendo projetada para ter alta resistência à fadiga (NEWCOMB *et al.*, 2001).

Especificamente sobre as misturas asfálticas de alta resistência à fadiga, distintos procedimentos para atingir esse objetivo já foram estudados. Reuniram-se aqui algumas diretrizes que podem conduzir a misturas asfálticas com característica de alta resistência à fadiga:

- Misturas asfálticas com granulometria densa tem melhor desempenho de vida de fadiga, pois melhoram as proporções e a interação entre agregados de diversos diâmetros, especialmente com o aumento da graduação fina. Além disso, amplia a quantidade de mástique asfáltico e sua eficácia na ação coesiva da mistura (NEJAD *et al.*, 2010).
- Segundo Tarefder *et al.* (2009), embora as camadas de alta resistência à fadiga devam possuir uma granulometria de alta densidade, o diâmetro máximo nominal da granulometria alvo deve variar de acordo com a espessura da camada, com objetivo de evitar deformações permanentes. Os diâmetros nominais máximos podem variar de 19 mm, para espessura de camada entre 60 a 75 mm, 25 mm, para espessura de camada entre 75 e 100 mm, e 37,5 mm, para espessuras superiores a 100 mm.
- Ao analisar as faixas granulométricas da norma DNIT 031/2006-ES, apenas a faixa “B”, com diâmetro nominal máximo de 25 mm poderia ser utilizada com o objetivo de obter mistura asfáltica de alta resistência à tração. A mesma é apropriada para camadas de ligação e de revestimento, e apresenta características de granulometria densa, mas com alta amplitude. Portanto, essa faixa granulométrica apropriada para misturas de alta resistência à fadiga poderia ter limites inferior e superior ainda mais ajustados.
- Como é de conhecimento amplo, a quantidade de CAP na mistura é inversamente proporcional ao volume de vazios (Vv) da mistura, ou seja, quanto mais CAP menor o Vv (BERNUCCI *et al.*, 2022). Em uma análise simples, uma maior quantidade de CAP poderia fornecer uma maior vida de fadiga à mistura asfáltica, ou seja, a redução do Vv da mistura poderia ser um dos objetivos da dosagem.
- Embora o maior teor de ligante possa trazer uma maior resistência à fadiga para a mistura,



essa proporção deve ser dosada criteriosamente, pois, ao aumentar a quantidade de asfalto de forma indiscriminada, a mistura pode perder resistência à deformação permanente (BERNUCCI *et al.*, 2022).

- Além disso, uma quantidade excessiva de ligante asfáltico livre pode fornecer superfícies sem formação de mástique e, conseqüentemente, formar uma superfície de fragilidade à mistura (NEJAD *et al.*, 2010).

MÉTODOLOGIA

Caracterização dos materiais

O ligante asfáltico usado no presente estudo foi o CAP 50/70 (RLAM – Bahia). Os resultados dos ensaios de caracterização de viscosidade rotacional podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados do ensaio de viscosidade rotacional.

Ensaio	Viscosidade (cP)	Valor Mínimo (cP)
Viscosidade Brookfield, 135°, SP 21, 50 rpm	377	274
Viscosidade Brookfield, 149°, SP 21, 50 rpm	199	112
Viscosidade Brookfield, 177°, SP 21, 120 rpm	71	57 a 285

A granulometria é parte muito importante nesse tipo de mistura, pois influencia decisivamente no teor ótimo de ligante a ser usado. Para obtenção da granulometria utilizada, foram consideradas faixas granulométricas com diâmetro máximo adequado a camadas com espessuras maiores ou iguais a 75 mm (diâmetro máximo de 25 mm). Foram selecionadas duas faixas granulométricas específicas para sub-bases de pavimentos perpétuos e uma faixa granulométrica brasileira que poderia ser utilizada para a mesma finalidade: a) faixa granulométrica utilizada na Índia e China (KURMAR, 2017) e b) faixa B do DNIT 031/2006-ES. A curva alvo utilizada nessa pesquisa foi determinada de forma que melhor se enquadrasse nessas duas faixas.

Dessa forma, como pode ser observado no gráfico da Figura 1 (traçado com diâmetro da peneira elevada à potência 0,45 para observar a linha de densidade máxima), a curva granulométrica alvo (CAARF) é de alta densidade e atendeu as duas faixas granulométricas adotadas. Um fator a se destacar é que a faixa B do DNIT 031/2006-ES abrangia grande parte da faixa granulométrica adotada na Índia e China, ou seja, essa última é mais restrita que a nacional, pois é apropriada para o objetivo de misturas de alta resistência à fadiga. A granulometria “controle” é utilizada para misturas asfálticas do tipo Binder e foi utilizada nesse trabalho para um concreto asfáltico com desempenho considerado “padrão”.

Após definida a granulometria a ser utilizada, foi obtido o teor ideal de CAP para a mistura. O método utilizado foi a dosagem Marshall com CAP 50/70.

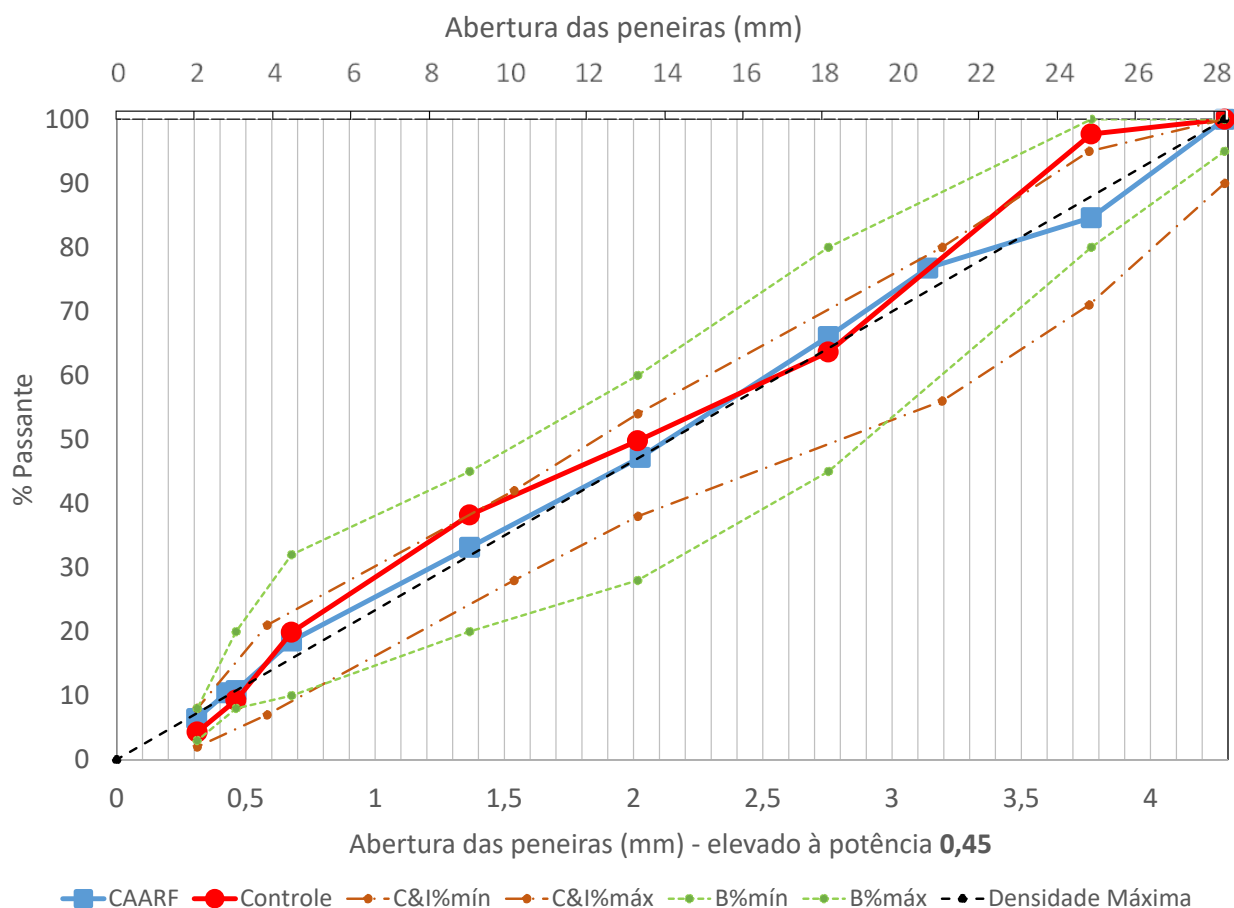


Figura 1. Resultados da granulometria utilizada.

Dosagem Marshall

Nesse trabalho, a curva granulométrica testada foi enquadrada nas duas faixas tomadas como referência e o teor de asfalto alvo foi, em princípio, o que fornecia o volume de vazios (V_v) de 4%. Aplicando o método de dosagem Marshall e baseado no V_v de 4%, o teor de CAP encontrado foi de 5,17%, definido como teor ótimo para o esqueleto mineral da mistura estudada. A relação Betume e Vazios (RBV) correspondente a esse teor foi de 76%. Tanto o V_v , quanto o RBV, estão dentro do intervalo requerido na norma DNIT 031/2006-ES para camadas de rolamento. Esse teor, portanto, foi correspondente ao primeiro método para obtenção de Concreto Asfáltico de Alto Resistência à Fadiga (CAARF01), na qual se atuou especificamente na curva granulométrica (alta densidade) e V_v de 4% (NEWCOMB *et al.*, 2001).

Os outros dois métodos utilizaram a mesma curva granulométrica e dosagem obtidos em CAARF01, mas com algumas especificações distintas, quais sejam: a) o segundo teor de CAP foi correspondente ao V_v de 3% (NEWCOMB *et al.*, 2010), obtendo-se o CAARF02 com teor de ligante de 5,55%; e b) o terceiro teor de CAP foi correspondente ao teor obtido para o CAARF01, adicionando 0,5% de CAP (ANAND *et al.*, 2020), obtendo-se o CAARF03 com teor de asfalto de 5,67% e V_v de 2,69%.

A dosagem da mistura CONTROLE, utilizada para comparação dos resultados de desempenho com



as misturas CAARF, foi realizada com adição de DOPE de 0,5% e resultou em teor de CAP de 4,6%, Vv também de 4,6% e RBV de 70,3%, apropriada às camadas de ligação (Binder).

Obtidos os quatro concretos asfálticos, foram moldados também corpos de prova nas características dosadas (%CAP e %Vv) para as misturas “CONTROLE”, “CAARF01”, “CAARF02” e “CAARF03”, para a realização dos ensaios de Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD) (DNIT 136/2018-ME), Módulo de Resiliência (MR) (DNIT 135/2018-ME) e Vida de Fadiga (DNIT 183/2018-ME).

RESULTADOS

Resistencia a tração por compressão diametral (RTCD)

Os valores médios obtidos do ensaio de RTCD para cada uma das três misturas podem ser encontrados na Figuras 2.

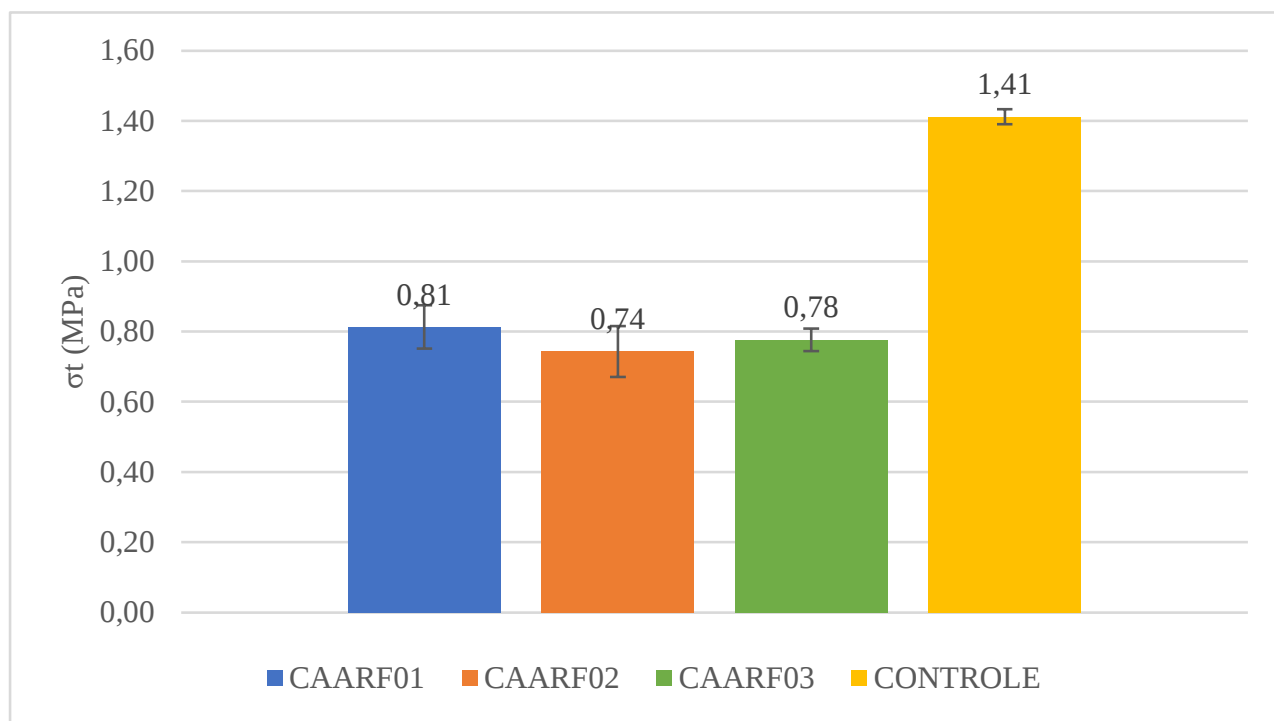


Figura 2. Resultados de RTCD (MPa).

É possível notar que houve um decréscimo nas resistências à tração por compressão diametral, o que é uma característica incomum, pois, com o aumento gradual do teor de ligante, a tendência era aumentar a resistência à tração da mistura.

Uma das possíveis causas para esse comportamento atípico pode ser encontrada nas pesquisas de Don Christensen *et al.* (2007). Segundo o autor, observa-se que quando o teor de CAP supera 5% seu aumento gradual causa a redução da resistência à tração.



Módulo de resiliência (MR)

Os resultados de módulo de resiliência estão apresentados na Figura 3. O estudo de Possebon (2018) compara resultados de MR de misturas asfálticas dosadas com CAP 50/70 de várias refinarias brasileiras. O intervalo de MR encontrado por ele foi entre 7173 a 8628 MPa. Pode-se perceber que as três misturas asfálticas aqui estudadas resultaram em MRs menores que essa faixa (5157 a 5486 MPa), ou seja, mais flexíveis. Esse era o objetivo do estudo, sendo alcançado devido à escolha da faixa granulométrica de alta densidade e grande quantidade de filer, o que elevou o consumo de ligante asfáltico, tornando as misturas mais flexíveis. Contudo, não foram detectadas variação relevante nos valores de MR para as misturas dosadas pelos três métodos.

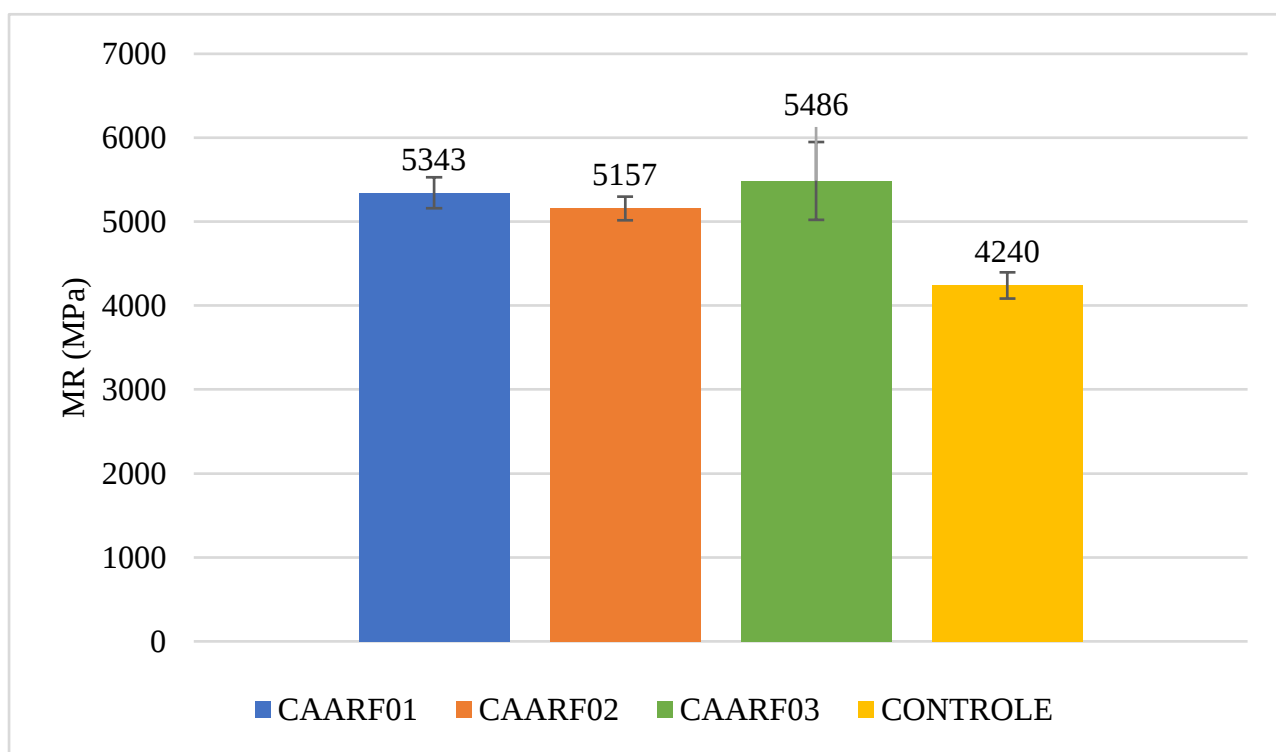


Figura 3. Resultados de MR (MPa).

Ensaio de fadiga por compressão diametral à tração controlada

O ensaio de fadiga é importante para determinar o comportamento de uma mistura asfáltica quando a mesma é submetida a uma força de forma sucessiva até o momento que haja a plastificação do material e este venha a ruptura. Assim, a vida de fadiga é a quantidade de aplicações de uma carga antes da ruptura do CP. Este ensaio seguiu a norma DNIT 183/2018-ME.

Pode-se observar os resultados de fadiga de acordo com os gráficos das Figuras 4, 5 e 6, onde associam os valores de deformação de tração inicial (ϵ), tensão de tração aplicada (σ_t) e relação percentual da tenção de tração e a RTCD da mistura (%RTCD) com a vida de fadiga (N). Os modelos foram ajustados para curvas potenciais (Figuras 4 e 5) e exponenciais (Figura 6).

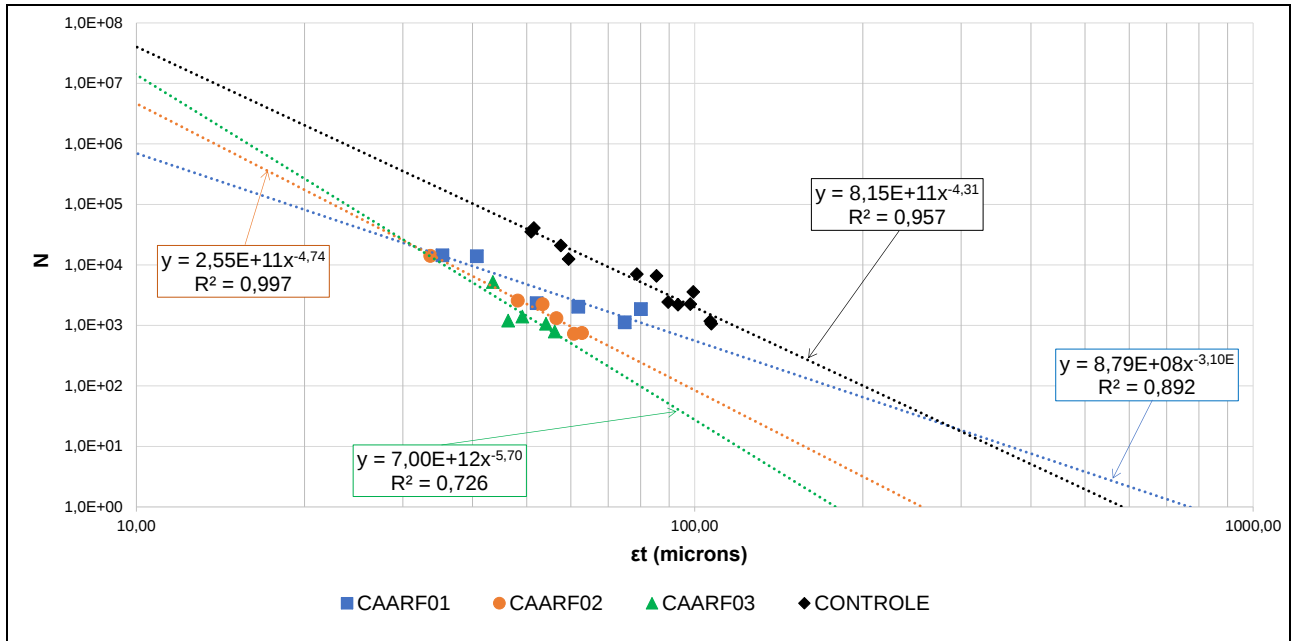


Figura 4. Relação vida de fadiga x deformação de tração inicial.

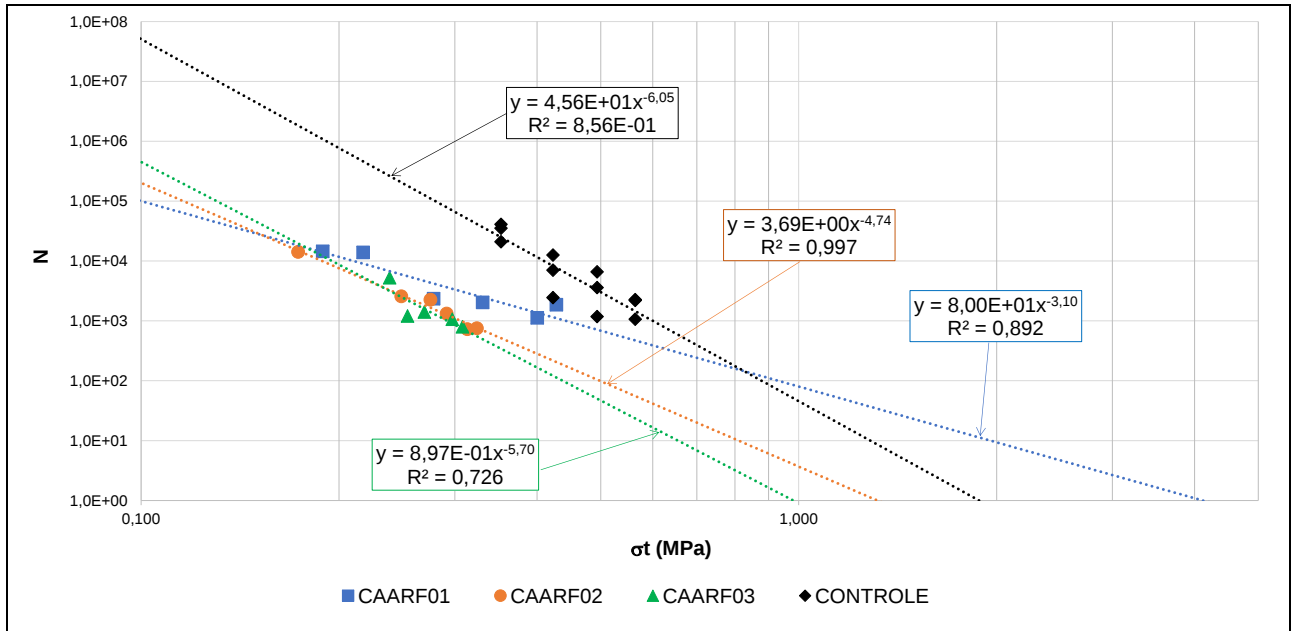


Figura 5. Relação vida de fadiga x tensão de tração.

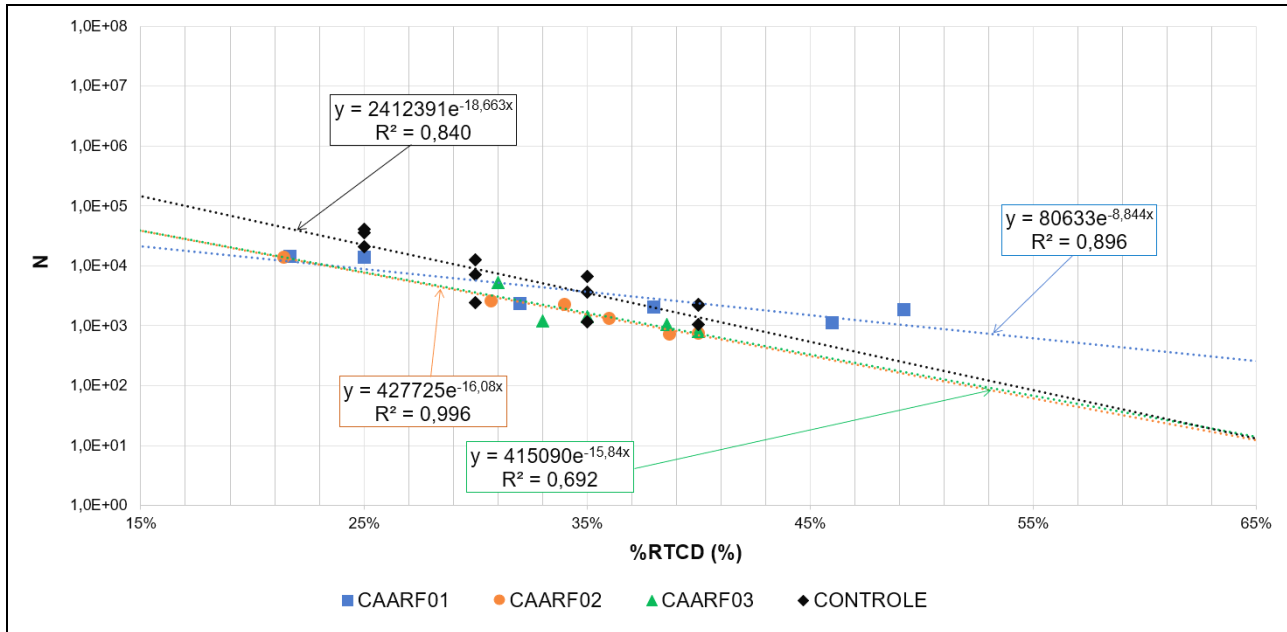


Figura 6. Relação vida de fadiga $\times$ % da RTCD.

Percebe-se nas Figuras 3 e 4 que quanto maior é a deformação de tração inicial ou a tensão aplicada no ensaio, menor é o N , comportamento esse esperado, conforme literatura (HUANG, 2004; MEDINA et al., 2015).

O aumento da relação entre tensão de tração aplicada e resistência à tração por compressão diametral (%RTCD) também causa uma diminuição da vida de fadiga. Observa-se que a curva de CAARF01 com volume de vazios de 4% tende a ter uma maior vida de fadiga que as outras três misturas (Figura 6), à medida que a tensão de tração se eleva. Nota-se também que as misturas com maiores teores de CAP (CAARF02 e CAARF03) só seriam vantajosas quando as tensões de tração na camada fossem abaixo de 23% da RTCD, o que poderia limitar suas aplicações. Já a mistura CONTROLE somente seria vantajosa, frente ao CAARF01, para tensões de tração inferiores a 35% da RTCD.

Para a deformação específica de tração, a mistura CAARF01 supera as misturas CAARF02 e CAARF03 em desempenho à fadiga a partir da 30μ , enquanto supera a mistura CONTROLE a partir de 230μ .

Somando as duas características de níveis de tensões e deformações de tração, observa-se um ganho qualitativo ao desempenho por fadiga à mistura quando a granulometria selecionada tem densidade aproximada à máxima, especialmente ao comparar com granulometrias típicas de BINDERS.

Foi possível perceber também que os procedimentos adotados para as dosagens do CAARF02 e CAARF03 resultaram em desempenhos à fadiga semelhantes ao analisar as Figuras 4 a 6. Da mesma forma, os seus teores de ligante também foram relativamente semelhantes. Pelo fato da esperada melhora de desempenho à fadiga pelo aumento do teor de ligante não ter se confirmado, reforça a hipótese de Nejad et al. (2010), de que a quantidade excessiva de ligante asfáltico livre pode fornecer superfícies de fragilidade à mistura.

Dessa forma, pela mistura CAARF01 ter menor teor de CAP que as misturas CAARF02 e CAARF03 e por ter o melhor desempenho entre todas as misturas (inclusive a CONTROLE) quando a tensão de tração supera 35% do RTCD, do ponto de vista qualitativo, o procedimento



apropriado de escolha da curva granulométrica próxima a de máxima densidade configurou-se como o melhor caminho, entre os quatro analisados, para obtenção de concreto asfáltico com ganhos na resistência à fadiga.

CONCLUSÕES

A necessidade de um pavimento mais durável, econômico e de caráter mais ecológico deu origem à técnica de pavimentação perpétua, que com o uso de três camadas asfálticas consegue atingir uma vida útil do pavimento de pelo menos 35 anos. Baseado na ótica de dosagem das camadas de sub-base dos pavimentos perpétuos, a alta resistência à fadiga é adquirida devido à sua granulometria densa e maior teor de asfalto. Com isso, é possível reduzir os danos por trincas de fadiga na estrutura do pavimento, que é um dos maiores problemas enfrentado nos processos de dimensionamento.

Quanto aos ensaios mecânicos realizados, pôde-se inferir que o módulo de resiliência obtido para as misturas projetadas para terem ganhos na resistência à fadiga sugerem um material mais flexível que misturas asfálticas com CAP 50/70 aplicadas no Brasil (POSSEBON 2018), contudo um pouco mais rígidas que o BINDER estudado aqui como mistura “CONTROLE”.

As misturas aqui chamadas de CAARF foram obtidas com o uso de uma curva granulométrica próxima à de densidade máxima, o que refletiu em alto consumo de CAP já para 4% de Vv, além de desempenho à fadiga superior à mistura CONTROLE, refletindo em ganho qualitativo de resistência à fadiga. Ganhos quantitativos não foram analisados, pois dependem de mais fatores que os analisados nessa pesquisa, tais como: tipo de CAP, uso de polímeros, tipos de agregados etc.

Foi possível verificar que a mistura CAARF01 dosada para Vv de 4%, porém para granulometria próxima à de máxima densidade, atingiu o melhor desempenho à fadiga, superando misturas com o maior consumo de CAP. Há grande possibilidade do aumento do consumo de CAP, proporcionado pelos demais métodos avaliados para misturas de alta resistência à fadiga, ter acarretado em pontos de fragilidade e na perda de desempenho às misturas CAARF02 e CAARF03, quando comparadas à mistura CAARF01, contrariamente às recomendações encontradas nas referências consultadas nesse trabalho. Com isso, o aumento no consumo de CAP reduziu tanto a resistência à tração quanto a resistência à fadiga das misturas (CAARF02 e CAARF03), possivelmente pela lubrificação excessiva dos agregados, visto que o teor de ligante de 4% de Vv (CAARF01) já era relativamente alto (5,17%). Comparando às três misturas CAARF e a CONTROLE, a escolha da que forneceu consumo intermediário de CAP constituiu-se numa vantagem, pois fornece benefícios técnicos sobre as demais, mas com custo não tão elevado.

REFERÊNCIAS

ANAND, Sanchit; GRAUR, Arun; SINGH, Gagandeep. Chinese Society of Pavement Engineering. Evaluation of fatigue endurance limit of dense bituminous mix using diferente failure theories for the desigh of perpetual pavement. Springer, 2020. Disponível em: www.springer.com/42947.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS: Guide for Design of pavement structures. Washington, D.C. 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15184: Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional. Rio de Janeiro, 2021.



BERNUCCI, Liedi B., MOTA, L. M. G., CERATTI, J. A. P., SOARES, J. B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 2ª edição. Rio de Janeiro, PETROBRAS: ABEDA, 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE: SEST SENAT. Pesquisa CNT de Rodovias 2022. Brasília, 2022. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br>.

CHRISTENSEN, Don; BONAQUIST, Ray. TRANSPORTATION RESEARCH CIRCULAR E-C124. Practical approaches to hot-mix asphalt mix design and production quality control testing. Whashington, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER 004: Material betuminoso – Determinação da viscosidade Saybolt-Furol a alta temperatura método de película delgada. Rio de Janeiro, 1994.

DNIT 136: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Brasília, 2018.

DNIT 135: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Brasília, 2018.

DNIT 183: Pavimentação asfáltica – Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada – Método de ensaio. Brasília, 2018.

GRILLO, Alexandre Henrique Hahn Franco. Dimensionamento de um pavimento utilizando a técnica de pavimentação perpétua para um trecho da rodovia BR-282/SC. Florianópolis, 2015.

HUANG, Y.H. Pavement analysis and design. USA: Pearson Prentice Hall, 2004.

KUMAR, S. G.; SATYA, J.; MITTAL, K.; and RAJU, S. Design of a bituminous mixture for perpetual pavement. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. DOI 10.1088/1757-899X/330/1/012132

MEDINA, J., e Motta, L M. G. Mecânica dos Pavimentos. 2ª edição. Editora Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

NEJAD, F. Moghadas; AFLAKI, E.; MOHAMMADI, M. A. Fatigue behavior of SMA and HMA mixtures. Elsevier, 2010.

NEWCOMB, David E.; BUNCHEER, Mark; HUDDLESTON, Ira J. Concepts of perpetual pavements. Transportation Research Circular, 2001.

NEWCOMB, David E.; WILLIS, Richard; TIMM, David H. Perpetual asphalt pavements: A synthesis. 2010.

POSSEBON, Evelyn Paniz. Estudo laboratorial das propriedades mecânicas de misturas com diferentes cimentos asfálticos de petróleo produzidos no Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2018.

TRANSPORT RESEARCH LABORATORY. Design of long-life flexible pavements for heavy traffic. Berkshire, 1997.

TAREFDER, Rafiqul A.; BATEMAN, Damien. NEW MEXICO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. NM08NSC-01: Future design of perpetual pavements for New Mexico. Albuquerque, 2009.