

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO DA BR-432/RR APLICANDO O SOFTWARE AEMC

LUCAS SANTOS FELICETTI¹, ANTÔNIO CARLOS RODRIGUES GUIMARÃES², FILIPE ALMEIDA CÔRREA DO NASCIMENTO³

¹Mestrando em Engenharia de Transportes, IME, Rio de Janeiro-RJ, lucas.felicetti@ime.eb.br;

²Dr. em Engenharia Civil, Prof. do IME, Rio de Janeiro-RJ, guimaraes@ime.eb.br;

³Dr. em Engenharia de Transportes, Prof. do IME, Rio de Janeiro-RJ, filipe.nascimento@ime.eb.br

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento estrutural do pavimento empregado na BR-432/RR a partir de uma abordagem mecanística, que considera o cálculo de tensões e deformações geradas na estrutura para a previsão da vida útil do pavimento. Para isso, 10 corpos de prova da mistura asfáltica foram extraídos do pavimento para a execução do ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão constante, obtendo o modelo de fadiga do material. Em seguida, com o auxílio do software Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC), foram calculadas as tensões atuantes na estrutura do pavimento para, posteriormente, realizar uma simulação da sua vida útil, verificando se atende ao tráfego real previsto para o trecho. Após a análise mecanística, concluiu-se que a estrutura não satisfaz a vida útil de projeto, sendo necessária uma espessura de revestimento asfáltico superior ao valor adotado pelo método de dimensionamento do DNER/81. Dessa forma, o presente estudo busca contribuir para o aperfeiçoamento na formulação de misturas asfálticas e para o adequado dimensionamento de estruturas, a fim de reduzir os problemas de trincamento por fadiga comumente encontrados nos pavimentos brasileiros.

PALAVRAS-CHAVE: Dimensionamento de pavimentos, Teoria da Elasticidade, Mecânica dos Pavimentos, vida de fadiga.

STRUCTURAL EVALUATION OF THE PAVEMENT OF THE BR-432/RR HIGHWAY USING THE AEMC SOFTWARE

ABSTRACT: This work aimed to evaluate the structural behavior of the BR-432/RR highway from a mechanistic approach, which takes into account the analysis of stresses and deformations generated in the structure in order to predict the service life of the pavement. For this, 10 specimens of the asphalt mixture were extracted from the surface layer for the indirect tensile fatigue test, obtaining the fatigue model of the material. Then, a simulation of the service life was performed using the Elastic Analysis of Multiple Layers (AEMC) software in order to verify if it meets the expected real traffic. After the mechanistic analysis, it was concluded that the structure does not meet its intended design life, requiring a greater thickness of the surface layer of asphalt when compared to the DNER/81 Method. Thus, the present study seeks to contribute to the improvement of pavement design, in order to reduce the fatigue cracking problems commonly found in Brazilian pavements.

KEYWORDS: Pavement design, Theory of Elasticity, mechanistic analysis, fatigue life.

INTRODUÇÃO

As trincas nos revestimentos asfálticos são os defeitos mais comuns nos pavimentos flexíveis, causadas, principalmente, pelo efeito de fadiga do material. Esse fenômeno pode ser definido como um processo de deterioração que ocorre quando o material está sujeito à um carregamento repetido, cujas tensões são inferiores à tensão de ruptura estática. Dessa forma, leva ao aparecimento e o crescimento de fissuras até resultar na ruptura total do pavimento, após um determinado número de repetições do carregamento (Bernucci et al., 2022).

Embora o trincamento por fadiga não seja um defeito que comprometa o conforto e a segurança em pequenas porcentagens de área dos revestimentos asfálticos, as trincas tendem à progredir, gerando consequências prejudiciais ao desempenho estrutural e funcional do pavimento. Uma delas refere-se à redução da rigidez da camada, aumentando as tensões verticais nas camadas subjacentes. Também causa a perda da impermeabilização da camada do revestimento, o que permite a

infiltração da água na estrutura e, conseqüentemente, a redução da capacidade de suporte do solo e a formação de buracos (NCHRP, 2011).

Os projetos de misturas asfálticas, tradicionalmente realizados, não contemplam a avaliação do material sob a ação de cargas repetidas à variados níveis de tensão. Por esta razão, com apenas os parâmetros obtidos por meio da dosagem de misturas asfálticas, torna-se difícil a previsão do desempenho à fadiga da camada em campo, o que prejudica uma adequada tomada de decisão nos projetos de pavimentação. No entanto, essa lacuna pode ser preenchida, empregando métodos mecanísticos de dimensionamento, baseados em ensaios que melhor representam as condições dos materiais em campo.

O novo Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) apresentado em 2018 pelo DNIT, considera a fadiga do revestimento asfáltico como um dos critérios de ruptura. Neste método, calcula-se as tensões e os deslocamentos no sistema de múltiplas camadas do pavimento, a partir dos parâmetros de deformabilidade dos materiais que as compõem, obtidos por meio de ensaios de cargas repetidas. Determina-se o número de repetições de carga que leva o revestimento asfáltico à ruptura por fadiga, verificando se atende ao volume de tráfego projetado na rodovia. Assim, pode-se avaliar e prever o desempenho à fadiga da estrutura (Medina & Motta, 2015).

Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a vida de fadiga do revestimento asfáltico da BR 432/RR, determinando o modelo de previsão de fadiga da mistura asfáltica a partir do ensaio de fadiga por compressão diametral sob tensão constante e analisando as tensões atuantes na estrutura do pavimento por meio do software Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC). Dessa forma, este estudo busca contribuir para o aperfeiçoamento na formulação de misturas asfálticas e no dimensionamento de estruturas, de modo a auxiliar projetistas na escolha de uma apropriada solução para projetos de pavimentação, a fim de reduzir os problemas de trincamento por fadiga comumente encontrados nos pavimentos brasileiros.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo refere-se à rodovia BR-432/RR do trecho: Entrº. BR-174/RR, BR-210/RR – Entrº. BR-401/RR, sub-trecho: Vila Central – Cantá, segmento: km 167,6 - km 180,3. Deste trecho, foram extraídas 10 amostras do concreto asfáltico recém aplicado para a realização dos ensaios mecânicos. A mistura asfáltica empregada é constituída de cimento asfáltico do tipo CAP 50/70, agregados britados de origem de rocha granítica e areia de rio. Sua composição granulométrica enquadra-se na Faixa B do DNIT 031/2006 e está apresentada na Tabela 1. A Tabela 2 mostra as propriedades finais da mistura.

Tabela 1: Composição granulométrica da mistura asfáltica

Peneiras Pol.	mm	Brita 1	Brita 0	Pó de Pedra	Areia	% Projeto	Faixa B	
		37%	25%	35%	3%		Mín	Máx
1"	25,40	100,00	100,00	100,00	100,00	100,0	95	100
3/4"	19,10	99,61	100,00	100,00	100,00	99,9	80	100
3/8"	9,50	12,35	99,11	100,00	99,79	67,3	45	80
4	4,80	0,45	45,29	100,00	98,69	49,5	28	60
10	2,00	0,20	7,79	80,32	95,66	33,0	20	45
40	0,42	0,18	2,92	46,40	53,64	18,6	10	32
80	0,18	0,14	1,65	24,64	3,79	9,2	8	20
200	0,07	0,08	0,92	11,47	0,51	4,3	3	8

Tabela 2: Características da mistura asfáltica

Propriedades da mistura	Valor do projeto	Especificação DNIT
Teor de Ligante (%)	4,5	
Volume de Vazios (%)	4,30	4 a 6
Relação Betume Vazios (%)	71,00	65 a 72
Vazios do Agregado Mineral (%)	15,15	
Massa Esp. Aparente (g/cm ³)	2,415	
Estabilidade (kgf)	1850	> 500
Tração diametral (MPa)	1,04	> 0,65

O ensaio de fadiga foi executado por compressão diametral sob tensão controlada, por meio do equipamento mostrado na Figura 1. O ensaio consistiu na aplicação de cargas em magnitude de 10%, 20%, 30% e 40% da resistência à tração e na frequência de 60 aplicações por minuto (1 Hz), seguindo os procedimentos do DNIT 183/2018. Os corpos de prova foram ensaiados à temperatura de 25°C.

Figura 1: Equipamento para ensaio de fadiga por compressão diametral



Em seguida, foi determinada a relação entre o número de repetições de carga que levam à ruptura da amostra e a magnitude de tensões, por meio da equação abaixo:

$$N = k_1 \left(\frac{1}{\Delta\sigma} \right)^{k_2} \quad (1)$$

Onde:

N = número de repetições de carga para o rompimento da amostra (vida de fadiga);

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão no centro da amostra;

k_1 e k_2 = parâmetros de caracterização dos materiais obtidos na regressão linear.

Esta expressão foi utilizada no dimensionamento mecânico do pavimento, adotando-se um fator campo-laboratório correspondente a 10^4 , que é o valor proposto por Pinto (1991), considerando uma área trincada por fadiga de 20%. Esse fator é aplicado para corrigir a severidade do ensaio de fadiga, uma vez que nas condições de campo, a repetição de cargas ocorre de forma mais espaçada, isto é, em menores frequências, permitindo, eventualmente, a recuperação parcial por solda das fissuras quando expostos à elevadas de temperatura em campo (Medina & Motta, 2015).

Para calcular a diferença das tensões de tração e compressão do revestimento ($\Delta\sigma$), foi utilizado o programa computacional AEMC, uma ferramenta do método MeDiNa. Essas tensões foram determinadas, considerando a carga equivalente a um eixo padrão rodoviário no pavimento da BR-432/RR. A Figura 2 apresenta a estrutura do pavimento da BR-432/RR, dimensionado pelo método DNER/81 (Eng^o Murillo Lopes de Souza) para atender o CBR de 10,5% e o tráfego de $N = 6,42 \times 10^6$, correspondente a um período de projeto de 10 anos.

Figura 2: Estrutura do pavimento da BR-432/RR



Para a análise mecânica, foi adotado um módulo de resiliência da mistura asfáltica empregada na BR-432/RR correspondente a 3600 MPa, que é o valor obtido nos estudos de Preussler (1983) para uma mistura com mesma composição granulométrica (Faixa B) e o mesmo tipo e teor de ligante (CAP 50/70 no teor 4,5%).

Nas demais camadas, compostas por solos lateríticos, foram adotados os seguintes materiais contidos no banco de dados do MeDiNa e que são similares ao empregado no projeto da rodovia: Solo-brita – M5 (LG's:1521) na camada de base e solo (LG's:1521) para sub-base e subleito. Os seus parâmetros de resiliência (Módulo, k_1 , k_2 , k_3 e k_4) e o coef. de Poisson estão indicados na Figura 3.

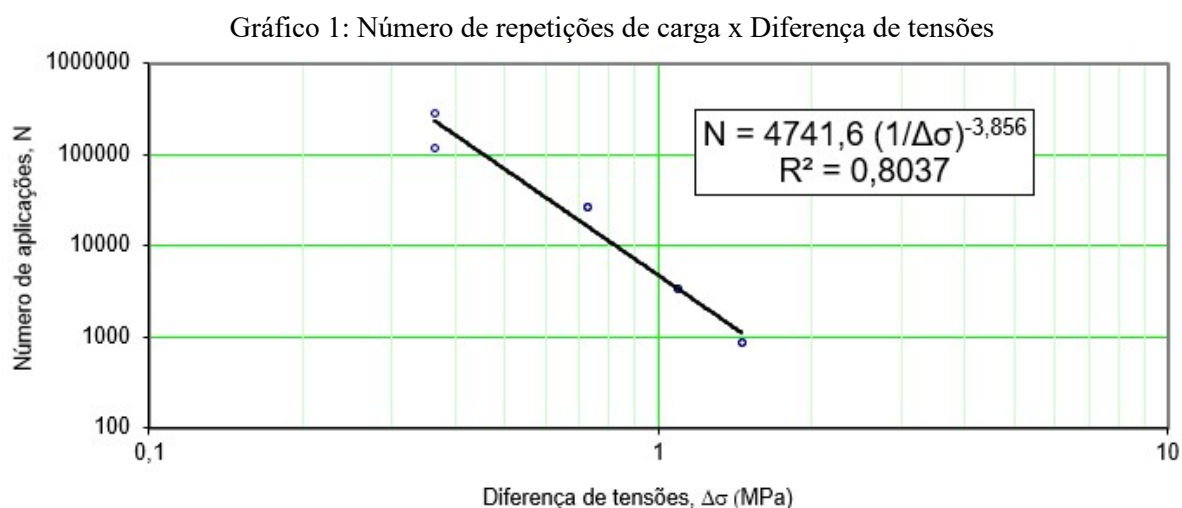
Figura 3: Parâmetros mecânicos adotados no software AEMC

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm ³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON
1	7,5	2,4	LINEAR	3600	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30
2	15	1,8	LINEAR	385	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35
3	15	1,6	NÃO LINEAR	(226)	109,4	0,17	-0,68	0,0	0,35
4	0,0	1,6	NÃO LINEAR	(320)	109,4	0,17	-0,68	0,0	0,40

As tensões atuantes na fibra inferior do revestimento foram, então, calculadas no software AEMC e utilizadas como dados de entrada no modelo de fadiga (Equação 1) da mistura asfáltica gerado a partir do ensaio realizado em laboratório. O valor obtido, por sua vez, foi majorado pelo fator campo-laboratório de 10^4 , determinando o número de ciclos de carregamento que o pavimento pode suportar, o qual foi comparado com o tráfego real previsto para o trecho, verificando se atende o período de projeto do pavimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Gráfico 1 apresenta os valores encontrados no ensaio de fadiga da mistura asfáltica empregada na BR-432, relacionando o número de repetições de carga em função da diferença de tensões. A regressão linear foi realizada para obter a equação correspondente ao modelo de fadiga do material.



A Figura 4 apresenta um esquema representativo das tensões e deformações atuantes mais importantes na estrutura do pavimento, obtidas pelo AEMC, tais como a deflexão superficial, as tensões normais, de tração e compressão, na fibra inferior da camada de revestimento, a deformação de tração na mesma posição e a tensão normal vertical no topo do subleito. A Tabela 3, por sua vez, mostra os resultados da previsão da vida útil à fadiga do pavimento, comparando com o tráfego real previsto para o trecho.

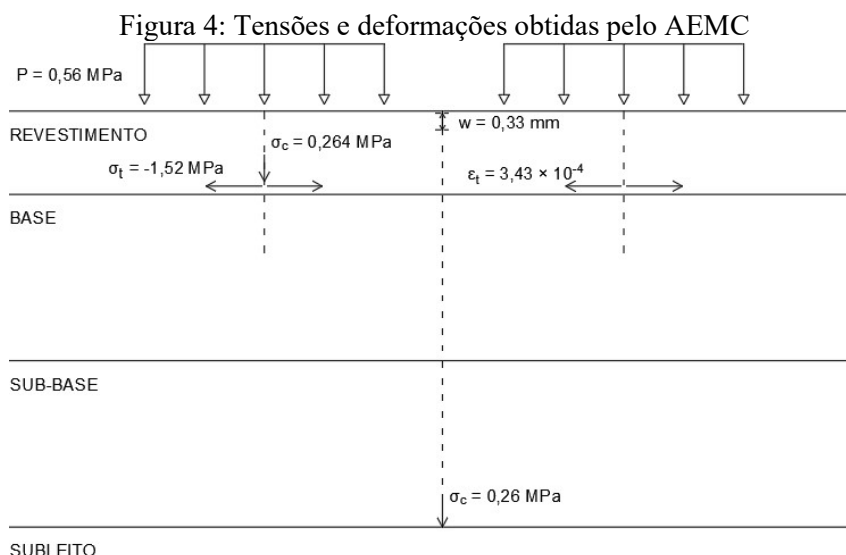


Tabela 3: Resultados da análise mecânica do pavimento da BR-432

σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N_{lab}	N_{campo}	$N_{projeto}$	Verificação
- 1,523	0,264	1,787	506	$5,06 \times 10^6$	$6,42 \times 10^6$	Não atende

Com o modelo de fadiga do material e as tensões máximas de tração e compressão atuantes no revestimento, foi obtido o número de repetições de carga que leva ao trincamento de 20% da superfície do pavimento. O resultado encontrado corresponde à $5,06 \times 10^6$ ciclos, valor inferior ao tráfego real previsto para o trecho, com $N = 6,42 \times 10^6$. Isso indica que, o pavimento terá uma vida útil de cerca de 8 anos, apresentando problemas estruturais e funcionais 2 anos antes do previsto. Para isso, de acordo com a metodologia MeDiNa, seria necessária uma espessura de revestimento de 13,7 cm, muito superior ao adotado de 7,5 cm, com base no método do DNER/81.

CONCLUSÃO

A análise mecânica pelo software AEMC mostrou que para a mistura asfáltica empregada e os valores modulares adotados nos materiais das demais camadas, a estrutura dimensionada pela metodologia do DNER/81 não atenderia ao tráfego estimado para o período de projeto de 10 anos. Além disso, pela metodologia MeDiNa, o revestimento deveria ter espessura 1,8 vezes maior, de forma que a estrutura apresente um adequado desempenho à fadiga durante toda a sua vida útil de projeto.

As tensões e deformações geradas devido ao carregamento repetido são os principais fatores que influenciam no surgimento e crescimento de trincas nos pavimentos. Por isso, é imprescindível o conhecimento prévio do material sob fadiga em variados níveis de tensão e a adoção de métodos mecânicos de dimensionamento, para que o pavimento não venha a trincar excessivamente e necessitar de reparo de forma prematura.

REFERÊNCIAS

- Bernucci, I. L. B.; Motta, I. M. G.; Ceratti, J. A. P.; Soares, J. B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 2ª Edição. Petrobrás, ABEDA. Rio de Janeiro, 2022.
- DNIT ME 183/18: Pavimentação asfáltica - Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.
- Medina, J. de; Motta, L. M. G. da. Mecânica dos Pavimentos. Editora Interciência. 3ª ed. RJ, 2015.
- NCHRP. A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary. (NCHRP Report 673). National Cooperative Highway Research Program. Washington, D.C.: 2011.
- PINTO, S. Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). COPPE/UFRJ. RJ, 1991.
- Preussler, E. S. Estudo da deformação resiliente de pavimentos flexíveis e aplicação ao projeto de camadas de reforço. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). COPPE/UFRJ. RJ, 1983.