

Dimensionamento empírico e empírico-mecanicista: Impacto na área trincada e no período de projeto de pavimentos flexíveis

Empirical and empirical-mechanistic dimensioning: Impact cracked area and on the project period of flexible pavements

Dimensionamiento empírico y empírico-mecanicista: Impacto en el área agrietada y el período de proyecto de pavimentos flexibles

Recebido: 30/06/2023 | Revisado: 16/07/2023 | Aceitado: 18/07/2023 | Publicado: 22/07/2023

Letícia Gabrielle Esteves Cardozo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2815-5285>

Universidade Federal de São João Del-Rei, Brasil

E-mail: leticia.esteves15@outlook.com

Daiany Cristina Costa Resende

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0556-8872>

Universidade Federal de São João Del-Rei, Brasil

E-mail: daiany.resende@yahoo.com.br

Natalia Assunção Brasil Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4296-6407>

Universidade Federal de São João Del-Rei, Brasil

E-mail: natalia.brasil@ufsj.edu.br

Resumo

A vida útil dos pavimentos em sua maioria tem sido menor do que aquela prevista em projeto, devido a diversos fatores, como os geométricos e de carregamento. Dessa forma, o método de dimensionamento de um pavimento deve considerar para a distribuição de tensões e deformações que ele é composto por diferentes camadas e materiais, com suas respectivas rigidezes e espessuras. Assim, este estudo visa analisar o impacto que as estruturas de pavimento dimensionadas pelos métodos empírico e empírico-mecanicista proporcionam na área trincada e no período de projeto de pavimentos flexíveis. Para o dimensionamento dos pavimentos, foi considerado as informações do tráfego de um trecho rodoviário da BR-040 e um período de 10 anos para o projeto. E as características dos materiais utilizados nas camadas de revestimento, base, sub-base e subleito, foram provenientes da análise de trabalhos científicos e acadêmicos. O pavimento projetado utilizando o método empírico-mecanicista atendeu aos requisitos para o período proposto, ao contrário dos resultados obtidos para os dois pavimentos dimensionados pelo método empírico, que apresentaram uma estrutura que atenderia apenas 50% e 75% da vida útil de projeto. Concluiu-se que a estrutura do pavimento dimensionado pelo método empírico-mecanicista, diferente daqueles dimensionados pelo método empírico, apresentou uma estrutura que atende ao critério da área trincada no pavimento para o período no qual foi projetado.

Palavras-chave: Método empírico; Método empírico-mecanicista; Período de projeto; Área trincada.

Abstract

The service life of pavements has mostly been shorter than expected, due to several factors, such as geometric and loading. Thus, the dimensioning method of a pavement must consider for the distribution of stresses and strains that it is composed of different layers and materials, with their respective stiffnesses and thicknesses. Thus, this study aims to analyze the impact that pavement structures designed by the empirical and empirical-mechanistic methods provide on the cracked area and the design period of flexible pavements. For the design of the pavements, the traffic information of a road section of BR-040 and a 10-year design period were considered. And the characteristics of the materials used in the coating layers, base, sub-base and subgrade, were obtained from the analysis of scientific and academic papers. The pavement designed using the empirical-mechanistic method met the requirements for the proposed period, unlike the results obtained for the two pavements dimensioned by the empirical method, which presented a structure that would meet only 50% and 75% of the design life. It was concluded that the pavement structure dimensioned by the empirical-mechanistic method, different from those dimensioned by the empirical method, presented a structure that meets the cracked area criterion in the pavement for the period in which it was designed.

Keywords: Empirical method; Empirical-mechanistic method; Project period; Cracked area.

Resumen

La vida útil de los pavimentos en su mayoría ha sido menor que la prevista en proyecto, debido a diversos factores, como los geométricos y de carga. De esa forma, el método de dimensionamiento de un pavimento debe considerar para la distribución de tensiones y deformaciones que él es compuesto por diferentes capas y materiales, con sus respectivas rigideces y espesores. Así, este estudio pretende analizar el impacto que las estructuras de pavimento dimensionadas por los métodos empírico y empírico-mecanicista proporcionan en el área agrietada y en el período de proyecto de pavimentos flexibles. Para el dimensionamiento de los pavimentos, fue considerado las informaciones del tráfico de un tramo de carretero de la BR-040 y un período de 10 años para el proyecto. Y las características de los materiales utilizados en las capas de revestimiento, base, subbase y subrasante, fueron procedentes del análisis de trabajos científicos y académicos. El pavimento proyectado utilizando el método empírico-mecanicista cumplió los requisitos para el período propuesto, a diferencia de los resultados obtenidos para los dos pavimentos dimensionados por el método empírico, que presentaron una estructura que atendería apenas 50% y 75% de la vida útil del proyecto. Se concluye que la estructura del pavimento dimensionado por el método empírico-mecanicista, diferente de aquellos dimensionados por el método empírico, presentó una estructura que cumple el criterio del área agrietada en el pavimento para el período en el cual fue proyectado.

Palabras clave: Método empírico; Método empírico-mecanicista; Período de proyecto; Área agrietada.

1. Introdução

Os pavimentos das rodovias brasileiras se encontram em más condições de tráfego devido à falta de manutenções regulares e do dimensionamento ineficiente, favorecendo o surgimento de diferentes patologias nas vias pavimentadas, como a deformação permanente e o trincamento por fadiga dos revestimentos asfálticos (Júnior, Kraemer, Pereira, Baroni & Specht, 2018). Por isso, Pitangui (2019) ressalta a necessidade do adequado dimensionamento que atenda com qualidade aos usuários de rodovias, durante toda a vida útil para o qual o pavimento foi projetado.

De acordo com Silva, Silva Brasil, Pitanga e Marques (2021), cada camada do pavimento apresenta uma função em particular na estrutura e é constituída por um tipo específico de material. De modo que no dimensionamento do pavimento, as respectivas rigidezes elásticas e espessuras das camadas devem ser consideradas na distribuição das tensões e deformações no pavimento e, conseqüentemente, exposto ao trincamento por fadiga (Silva et al., 2021).

O pavimento flexível é o mais empregado no Brasil, sendo constituído por uma ou mais camadas de revestimento asfáltico, aplicada sobre camadas de base e sub-base de material granular (Fritzen, 2016). As camadas sofrem deformação elástica devido ao carregamento aplicado, distribuindo a carga em parcelas proporcionais entre as camadas (Araújo, Santos, Pinheiro & Cruz, 2016). Neste contexto, o dimensionamento estrutural do pavimento visa determinar as características de projeto e espessuras das camadas, para que a estrutura do pavimento possa resistir e distribuir as tensões resultantes das solicitações ocasionadas pelo tráfego (Sousa, 2019). Dentre os métodos existentes para o dimensionamento de pavimentos, tem-se o método empírico e o método empírico-mecanicista.

O método empírico utiliza-se de correlações experimentais para o dimensionamento do pavimento, considerando a capacidade resistente do solo utilizado no subleito da estrutura como condicionante principal de projeto (Vendrusculo et al., 2018). Enquanto que no método empírico-mecanicista, ocorre a consideração do comportamento estrutural do pavimento através da adoção de modelos de desempenho relacionados as propriedades mecânicas dos materiais, considerando as tensões e deformações existentes nas camadas do pavimento (DNIT, 2006b).

O método empírico-mecanicista, destaca as definições presentes na mecânica dos pavimentos, que aborda as análises relacionadas a dinâmica comportamental, tensões e deformações, de cada camada que compõe o pavimento diante das solicitações de cargas provenientes do tráfego, correlacionando com as propriedades dos materiais e as espessuras das camadas, para o dimensionamento adequado da estrutura (Santos et al., 2020). Assim, ao se conhecer os estados de tensões e deformações em determinados pontos da estrutura analisada, torna-se possível realizar simulações por meio de modelos de desempenho com auxílio de programas computacionais, e avaliar os desgastes ocorridos no pavimento durante os anos de

período do projeto (Pandolfo et al., 2016; Santos et al., 2020).

Apesar disso, os pavimentos flexíveis no Brasil são frequentemente dimensionados pelo método empírico do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) de 1981. Entretanto, este método baseia-se em experimentos e observações na década de 60, e apresenta limitações em sua metodologia por não considerar a atuação das tensões e deformações permanentes entre as diferentes camadas do pavimento (Santiago et al., 2018; Silva, 2018).

Diante disso, o método empírico-mecanicista tem sido cada vez mais empregado para projetos de dimensionamento de pavimentos (Martinez & Perez, 2015). Em outros países, como Estados Unidos, Canadá e alguns países sul-americanos, os pavimentos são dimensionados pelo método MEPDG (*Mechanist-Empirical Pavement Design Guide*) desenvolvido pela AASHTO (Santiago et al., 2018). No Brasil, está em fase de implementação o novo método de dimensionamento de pavimentos do DNIT, Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa), que apresenta uma abordagem empírico-mecanicista quanto a análise da estrutura dos pavimentos (Santiago et al., 2018). Trata-se de um programa computacional que verifica a estrutura do pavimento, através da análise de múltiplas camadas com comportamento elástico, trazendo a possibilidade de avaliar a influência das condições climáticas, deformações permanentes do subleito, e surgimento de trincas por fadiga ao longo da vida útil de projeto (Medina & Motta, 2015; Pitangui, 2019; Franco & Motta, 2020).

Desde então, estudos relacionados a este novo método de dimensionamento vêm sendo desenvolvidos, com intuito de avaliar a metodologia e a sua aplicação nos projetos de pavimentos flexíveis, bem como o seu desempenho estrutural ao longo da vida útil do projeto. Assim, dentre estes estudos, podemos citar a pesquisa de Beckert et al., (2020), que analisou de forma comparativa a aplicação do novo método, MeDiNa (2018), quanto ao seu desempenho na previsão do surgimento de trincas nos pavimentos. Enquanto que Silva et al., (2019), realizaram uma análise de estruturas dimensionadas por meio de métodos empíricos em comparação a este novo método empírico-mecanicista. Por fim, temos a abordagem de Chiarello et al., (2019), em uma comparação estrutural e financeira de dimensionamento de pavimentos através de um estudo de caso de um trecho de rodovia.

Como visto, existe uma lacuna na literatura técnico científica em relação ao impacto que a estrutura do pavimento pode proporcionar na área trincada e no atendimento do período de vida útil para a qual foi projetada. Assim, este estudo visou verificar este impacto, através de estruturas de pavimentos dimensionados pelo método empírico, DNIT (1981), e método empírico-mecanicista, MeDiNa (2018).

2. Metodologia

Para realização deste estudo, empregou-se o seguinte processo metodológico: i) determinação das características do tráfego; ii) determinação dos materiais constituintes das camadas estruturais do pavimento; iii) dimensionamento do pavimento através do método empírico, DNIT (1981); iv) dimensionamento do pavimento através do método empírico-mecanicista, MeDiNa (2018); v) determinação da área trincada nos pavimentos dimensionados pelos diferentes métodos; vi) análise comparativa entre os dimensionamentos, vida útil e área trincada dos pavimentos dimensionados por ambos métodos em estudo.

2.1 Características do tráfego

Na definição dos parâmetros relacionados ao tráfego foram considerados as informações disponibilizadas pela concessionária Via-040 no relatório Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT) (Via-040, 2017). Neste estudo, considerou-se a utilização das informações referentes a contagem volumétrica e classificatória do tráfego da Unidade de Amostragem UA8-A, localizada no km 644+770/MG da rodovia BR-040, trecho entre Brasília, Distrito Federal e o município

de Juiz de Fora no estado de Minas Gerais.

Seguindo as recomendações Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006a), considerou-se sete dias de contagem e apenas veículos comerciais. Logo, verificou-se no trecho de estudo, sentido Sul da rodovia (Brasília - Rio de Janeiro), um volume de tráfego médio diário igual a 1.596 veículos comerciais (Via-040, 2017).

Ainda em relação ao estudo do tráfego, adotou-se o período de 10 anos para o projeto, e uma taxa de crescimento do tráfego de 3,5% ao ano. Essa taxa foi a mesma considerada pela Via-040 (2017), empresa responsável pela administração do trecho em estudo, na caracterização do tráfego das Unidades de Amostragem apresentadas em seu relatório para a previsão do ano de 2017.

2.2 Materiais para estrutura do pavimento

Os materiais utilizados nas camadas estruturais do pavimento tipo foram obtidos a partir da análise de trabalhos científicos e acadêmicos. Na camada do revestimento foi utilizado concreto asfáltico (CA), estudado por Rossato (2015). Na Tabela 1 é apresentada as características físicas e mecânicas do concreto asfáltico, necessárias para a realização do dimensionamento do pavimento.

Tabela 1 - Características do concreto asfáltico.

Características	Norma	Resultados
Massa específica	DNER-ME 043/1995	2,210 g/cm ³
Teor de asfalto	DNER-ME 053/1994	5,90%
Volume de vazios	DNER-ME 043/1995	4,00%
Abrasão Los Angeles	DNER-ME 035/1998	11,82%
Módulo de Resiliência	DNIT-ME 135/2010	4901 MPa
Fadiga - coeficiente de regressão k_1	DNIT-ME 135/2010	$4,0 \times 10^{-5}$
Fadiga - coeficiente de regressão k_2	DNIT-ME 135/2010	-1,99

Fonte: Rossato (2015).

De acordo com os dados mostrados na Tabela 1, o concreto asfáltico considerado no dimensionamento da camada de revestimento do pavimento tipo, apresenta um módulo de resiliência equivalente a 4901 MPa, e um valor de 2,21 g/cm³ para a massa específica.

Na adoção dos materiais das camadas de base e sub-base, utilizou-se aqueles aplicados na pesquisa de Neto et al., (2005), cujas informações referentes aos ensaios de compactação e os modelos matemáticos relacionados aos módulos de resiliência são apresentadas na Tabela 2 e Tabela 3, respectivamente.

Tabela 2 - Características do Solo Arenoso-Brita (50/50) aplicado na camada de base.

Características	Norma	Resultados
Umidade ótima (Wot)	DNER-ME 162/1994	5,70%
Massa específica	DNER-ME 162/1994	2,360 g/cm ³
CBR	DNER-ME 049/1994	290%
Expansão	DNER-ME 049/1994	0,0%
Módulo de Resiliência (MPa)	DNIT-ME 134/2010	$M_R = 1884 \cdot \sigma_3^{0,43} \cdot \sigma_d^{0,06}$
MR - coeficiente de regressão <i>k</i> 1	DNIT-ME 134/2010	1884
MR - coeficiente de regressão <i>k</i> 2	DNIT-ME 134/2010	0,430
MR - coeficiente de regressão <i>k</i> 3	DNIT-ME 134/2010	0,060

Fonte: Neto et al., (2005).

Tabela 3 - Características do Solo Areno-argiloso aplicado na camada de sub-base.

Características	Norma	Resultados
Umidade ótima (Wot)	DNER-ME 162/1994	11,80%
Massa específica	DNER-ME 162/1994	2,035 g/cm ³
CBR	DNER-ME 049/1994	107%
Expansão	DNER-ME 049/1994	0,08%
Módulo de Resiliência (MPa)	DNIT-ME 134/2010	$M_R = 548 \cdot \sigma_3^{0,14} \cdot \sigma_d^{0,24}$
MR - coeficiente de regressão <i>k</i> 1	DNIT-ME 134/2010	548
MR - coeficiente de regressão <i>k</i> 2	DNIT-ME 134/2010	0,140
MR - coeficiente de regressão <i>k</i> 3	DNIT-ME 134/2010	0,240

Fonte: Neto et al., (2005).

Como mostrado na Tabela 2, o material aplicado na camada de base do pavimento possui características de um solo arenoso-brita, apresentando uma umidade ótima de 5,70%, a massa específica de 2,360 g/cm³ e um valor de 290% de CBR. Enquanto que o material considerado para a camada de sub-base foi caracterizado como um solo do tipo areno-argiloso, apresentando um valor de 11,80% para umidade ótima, 2,035 g/cm³ de massa específica e um valor de 107% para o CBR, conforme informado na Tabela 3.

Não foi possível obter os parâmetros que caracterizam o comportamento da deformação permanente dos materiais aplicados nas camadas de base e sub-base. Porém, estes parâmetros são necessários para a realização do dimensionamento do pavimento pelo método empírico mecanicista, MeDiNa (2018), conforme consta no Guia Pro-MeDiNa (DNIT, 2020). Diante disso, para ambos os materiais optou-se por considerar que o valor da deformação permanente calculada pelo programa fosse quase nulo, conforme recomendação de Knabben e Carpio (2018). Essa suposição considera que os materiais utilizados apresentem um comportamento para a deformação permanente similar à de um material perfeito. Assim, na inserção dos dados da deformação permanente para os materiais de base e sub-base, foi informado que o coeficiente *k*1 apresenta o valor de

0,0000000001, ou seja, 1×10^{-10} . Enquanto os demais coeficientes terão o valor de 1, ou seja, $k_2=k_3=k_4=1$. De modo que a deformação permanente não influencie significativamente na análise realizada pelo programa.

Para o subleito adotou-se um solo do tipo argiloso, com comportamento laterítico (LG²), estudado por Zago (2016). Os dados que caracterizam o material, como os parâmetros de resiliência e de deformação permanente, mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Características do material aplicado na camada de subleito.

Características	Norma	Resultados
Umidade ótima (Wot)	ABNT NBR 7182/1986	19,60%
Massa específica	ABNT NBR 7182/1986	0,001676 g/cm ³
CBR	ABNT NBR 9895/1987	11%
Expansão	ABNT NBR 9895/1987	0,33%
Módulo de Resiliência (MPa)	DNIT-ME 134/2010	$M_R = 215,02 \cdot \sigma_3^{0,23} \cdot \sigma_d^{-0,29}$
MR - coeficiente de regressão k_1	DNIT-ME 134/2010	215,02
MR - coeficiente de regressão k_2	DNIT-ME 134/2010	0,230
MR - coeficiente de regressão k_3	DNIT-ME 134/2010	-0,290
Deformação Permanente (MPa)	REDE (2010)	$E_P = 0,869 \cdot \sigma_3^{0,006} \cdot \sigma_d^{1,212} \cdot N^{0,042}$
DP - coeficiente de regressão k_1	REDE (2010)	0,869
DP - coeficiente de regressão k_2	REDE (2010)	0,006
DP - coeficiente de regressão k_3	REDE (2010)	1,212
DP - coeficiente de regressão k_4	REDE (2010)	0,042

Fonte: Zago (2016).

O material considerado para a camada do subleito possui características argilosas, e conforme a Tabela 4, apresenta um valor de 19,60% de umidade ótima, uma massa específica de 0,001676 g/cm³ e um valor de 11% de CBR.

Os valores dos coeficientes de Poisson adotados foram os fornecidos pelo programa MeDiNa (2018), sendo eles igual a 0,30 para concreto asfáltico aplicado como camada de revestimento, 0,35 para materiais granulares aplicados nas camadas de base e sub-base e 0,45 para solos em geral, como o aplicado no subleito.

2.3 Dimensionamento: Método DNIT (1981)

Para o dimensionamento do pavimento flexível pelo método empírico, aplicou-se o método DNIT (1981), valeu-se das orientações descritas no Manual de Pavimentação (DNIT, 2006b). Assim, o dimensionamento da estrutura foi determinado em função da análise dos dados de tráfego para determinação do Número de Solicitações do Eixo Padrão de 8,2 tf (N) e do parâmetro do Índice Suporte Califórnia (ISC) de projeto (ou *California Bearing Ratio (CBR)*) dos materiais das camadas.

Determinou-se a espessura do revestimento betuminoso em função do N, e as espessuras das camadas de base e sub-base foram obtidas após a determinação do coeficiente de equivalência estrutural e das espessuras de proteção das camadas estruturais.

Na escolha dos materiais aplicados na estrutura do pavimento tipo, observou-se as recomendações do DNIT (2006b), conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Recomendações do DNIT (2006b) quanto aos materiais aplicados nas camadas do pavimento.

Camadas	Recomendação DNIT (2006b)
Material de subleito	CBR \geq 2% Expansão menor que 2%
Material para reforço do subleito	CBR maior que o do subleito Expansão menor que 1%
Material para sub-base	CBR \geq 20% Expansão menor que 1% Índice de Grupo (IG) igual a zero
Material para base	CBR \geq 80% Expansão menor que 0,5% Limite de Liquidez (LL) \leq 25% Índice de Plasticidade (IP) \leq 6%

Fonte: DNIT (2006b).

As características dos materiais devem ser avaliadas como descrito na Tabela 5, buscando-se atender a estes critérios para aplicação do método. Após isso, com os dados provenientes da análise do tráfego, foi determinado o N através da Equação (1) descrita no Manual de Pavimentação (DNIT, 2006b).

$$N = 365 * P * V_m * F_v * F_r \quad (1)$$

Em que:

N é o número de solicitações do eixo padrão rodoviário de 8,2 tf;

P é o período do projeto, em anos;

V_m é o volume médio diário de tráfego durante a vida de projeto, em veículos/dia;

F_v é o fator de veículo;

F_r é o fator climático regional (Adota-se $F_r = 1,0$).

Com o objetivo de analisar a influência da carga atuante no pavimento dimensionado por ambos os métodos em estudo, considerou-se na determinação do fator de veículo (F_v), um fator de equivalência de cargas do tráfego proveniente do DNIT (2006b) e outro do método USACE (*United States Army Corps of Engineers*), descrito no Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006a).

2.4 Dimensionamento: Método MeDiNa (2018)

Para o dimensionamento do pavimento pelo método MeDiNa (2018), valeu-se da aplicação do programa MeDiNa. Em que, a partir do número equivalente de solicitações do eixo padrão (N), características dos materiais das quatro camadas estruturais do pavimento e suas respectivas espessuras pré-definidas, verificou-se a espessura das camadas estruturais do pavimento, conforme os critérios de área trincada e deformação permanente do pavimento no período da vida útil de projeto.

Na escolha dos critérios de parada no programa, foi considerado a rodovia do tipo Sistema Arterial Principal, pois conforme a classificação do Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (DNIT, 2010), o trecho em estudo apresenta o volume de tráfego caracterizado pela existência de grandes fluxos de veículos, com elevada capacidade e altas velocidades. Desse modo, para o Sistema Arterial Principal, tem-se definido que o limite para área trincada é de 30% e a deformação permanente é de 10 mm.

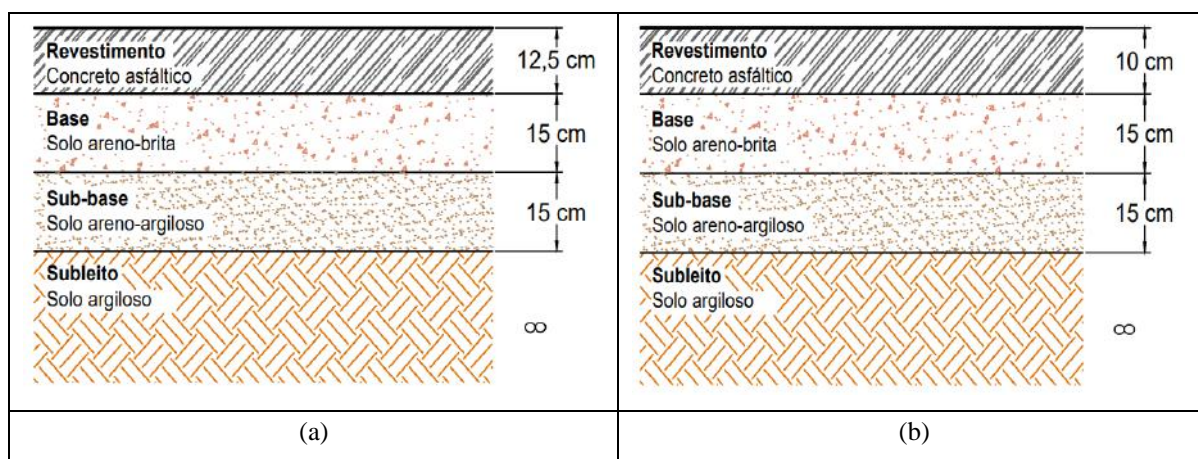
O nível de confiabilidade do dimensionamento do pavimento realizado pelo programa MeDiNa é de 95%, ou seja, o resultado encontrado possui a probabilidade de estar 95% dentro do intervalo de confiança dos dados utilizados para sua calibração.

3. Resultados e Discussão

3.1 Comparação entre os dimensionamentos dos pavimentos

Ao aplicar o método empírico de dimensionamento, obteve-se: i) uma estrutura denominada “E1” (Figura 1a) cujo o $N1 = 1,28 \times 10^8$, em que para a determinação do número de repetições de carga do eixo padrão de 8,2 toneladas (N) considerou-se o fator de equivalência de cargas do tráfego recomendado pelo DNIT (2006b); ii) uma estrutura denominada “E2” (Figura 1b) cujo o $N2 = 2,98 \times 10^7$, em que para a determinação do número de repetições de carga do eixo padrão de 8,2 toneladas (N) considerou-se o fator de equivalência de cargas do tráfego recomendado pelo método USACE (DNIT, 2006a).

Figura 1 - Pavimentos obtidos pela aplicação do método empírico de dimensionamento – (a) Estrutura “E1” obtida para $N1 = 1,28 \times 10^8$; (b) Estrutura “E2” obtida para $N2 = 2,98 \times 10^7$ (USACE).

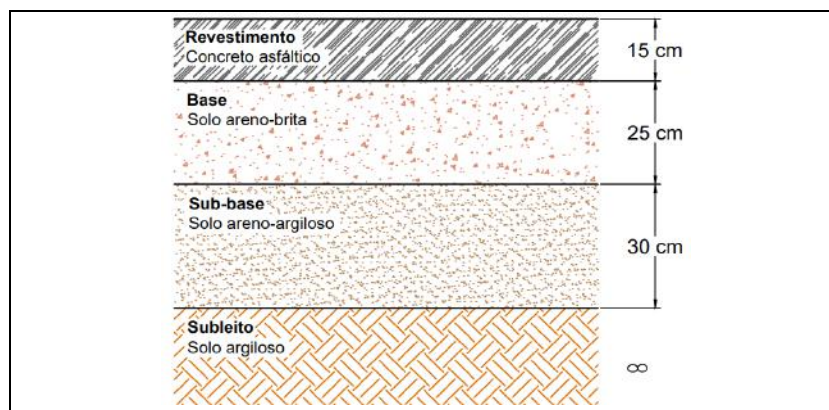


Fonte: Autores (2023).

Como exemplificado na Figura 1, a estrutura “E1” apresenta uma espessura de revestimento superior ao da estrutura “E2” por considerar um valor de “N” maior no dimensionamento do pavimento. Enquanto que as espessuras das demais camadas não se alteraram, devido ao fato de serem empregados os mesmos materiais na aplicação do método DNIT (1981).

No dimensionamento do pavimento pelo programa MeDiNa obteve-se para o final do período de projeto um valor de $N3 = 3,02 \times 10^7$. A Figura 2 ilustra a estrutura do pavimento obtida pelo método empírico-mecanicista, denominada “E3”.

Figura 2 - Pavimento obtido pela aplicação do método empírico-mecanicista de dimensionamento.

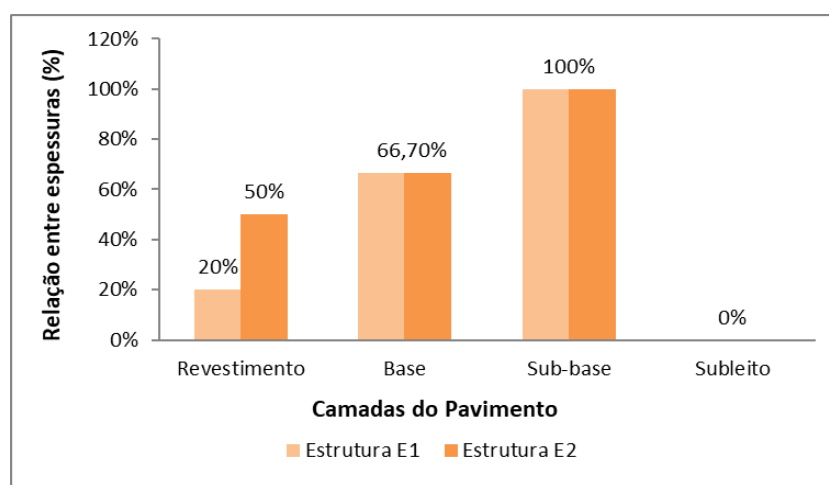


Fonte: Autores (2023).

Conforme Figura 2, observa-se que mesmo a estrutura “E3” sendo dimensionada para um N inferior ao utilizado na estrutura “E1”, ou seja, $N3 < N1$, as espessuras das camadas do pavimento obtido pelo método empírico-mecanicista foram superiores quando comparada com aquelas dimensionadas pelo método empírico. Uma possível justificativa para tal observação é o fundamento do método empírico-mecanicista, no qual se considera as propriedades e o desempenho em conjunto dos materiais diante das solicitações impostas ao pavimento, tráfego e condições ambientais. Ao contrário do método empírico, em que se considera apenas a capacidade de suporte do subleito para o dimensionamento de pavimentos.

No processo de dimensionamento pelo programa MeDiNa as camadas do pavimento são analisadas, de forma que os resultados sejam utilizados para prever o comportamento do pavimento durante a sua vida útil de projeto. Devido a esse caráter de análise, a estrutura do pavimento proveniente deste método apresenta camadas com espessuras superiores aquelas dimensionadas pelo método empírico (E1 e E2), conforme apresentado na Figura 3 através da relação percentual de aumento.

Figura 3 - Relação entre as espessuras dos pavimentos derivados dos métodos empírico “E1” e “E2” em comparação ao método empírico-mecanicista “E3”.



Fonte: Autores (2023).

Como observado na Figura 3, todas as camadas da estrutura dimensionada pelo método empírico-mecanicista tiveram um aumento percentual de espessura, em comparação as estruturas dos pavimentos obtidos pelo método empírico, sendo que a camada de sub-base teve um aumento mais significativo.

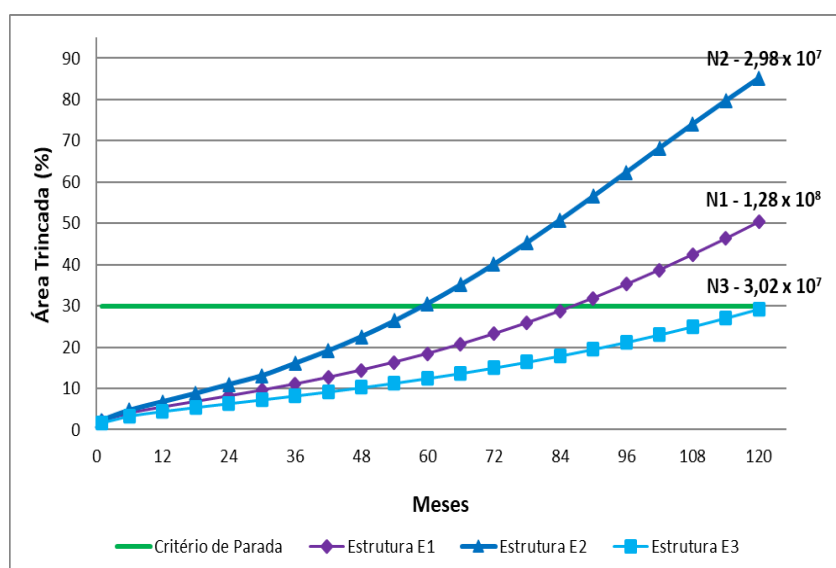
3.2 Análise do pavimento conforme critérios do Programa MeDiNa

Ao analisar a estrutura do pavimento derivado do método empírico de dimensionamento no programa MeDiNa, considerou-se para a verificação o valor de “N” calculado pelo programa e manteve-se o nível de confiabilidade igual a 95%. Os resultados obtidos para o afundamento de trilha de roda e área trincada ao final do período de projeto foram iguais a, respectivamente, 7,7 mm e 50,3% para estrutura “E1”, e 9,5 mm e 85,2% para estrutura “E2”.

Verificou-se que as estruturas dos pavimentos flexíveis dimensionadas pelo método empírico apresentaram trincas antes do final do período de projeto previsto para 10 anos. Pois, de acordo com o DNIT (2010) para um Sistema Arterial Principal, o limite para afundamento de trilha de roda e área trincada são 10 mm e 30%, respectivamente.

A Figura 4 ilustra a evolução da área trincada nas três estruturas em estudo (“E1”, “E2” e “E3”) e o limite da área trincada considerado pelo DNIT (2010).

Figura 4 - Evolução da área trincada nos pavimentos.

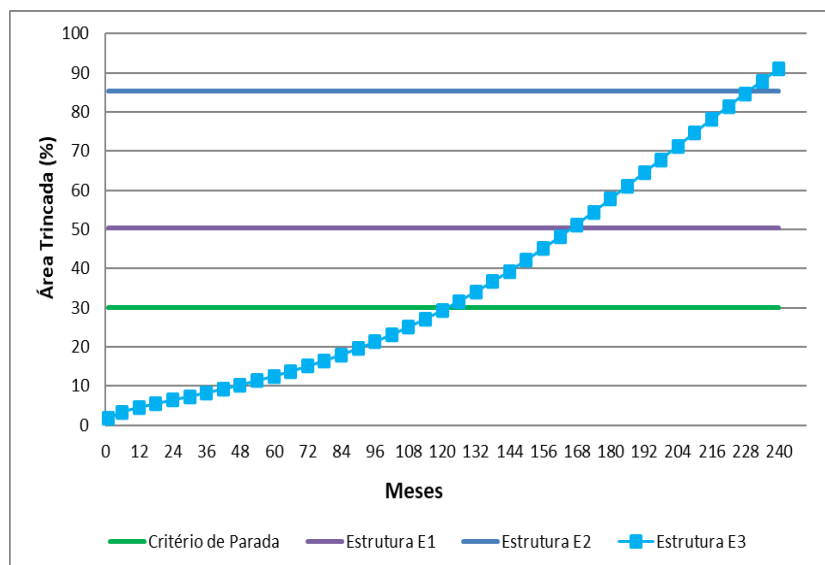


Fonte: Autores (2023).

Observa-se na Figura 4 que o pavimento com estrutura “E1”, tendo em vista a área trincada, foi dimensionado para uma vida útil igual a 7 anos e 6 meses, atendendo apenas 75 % da vida útil de projeto de 10 anos. E a estrutura do pavimento “E2” apresentou uma vida útil de 5 anos inferior a vida útil de projeto considerada no método empírico de dimensionamento.

A Figura 5 ilustra a evolução da área trincada do pavimento dimensionado pelo método empírico-mecanicista no período de vida útil igual a 20 anos de projeto, e a área trincada das estruturas dimensionadas pelo método empírico no período de vida útil igual a 10 anos de projeto.

Figura 5 - Evolução da área trincada do pavimento obtido pelo programa MeDiNa (2018).



Fonte: Autores (2023).

É possível notar através da Figura 5, que o pavimento dimensionado pelo método empírico-mecanicista irá atingir a mesma condição de área trincada que aquele pavimento dimensionado pelo método empírico em 14 e 19 anos após a implantação das estruturas “E1” e “E2”, respectivamente. Tais resultados demonstram que os pavimentos derivados do método de dimensionamento empírico-mecanicista apresentam um desempenho estrutural mais eficiente que aqueles derivados do método empírico.

4. Conclusão

Concluiu-se que o dimensionamento empírico-mecanicista de pavimentos, por considerar o desempenho conjunto dos materiais empregados nas camadas, define uma estrutura que melhor atenda ao período da vida útil de projeto de pavimento asfáltico, tendo em vista os critérios de dano de fadiga e afundamento de trilha de roda no pavimento.

Verificou-se que as estruturas dimensionadas pelo método empírico apresentam camadas com espessuras inferiores àquelas dimensionadas pelo método empírico-mecanicista, e por conseguinte, em períodos semelhantes, apresentam uma área trincada superior. Inferiu-se que o principal motivo de tal observação é a ausência nos métodos empíricos da análise do desempenho estrutural do pavimento.

Assim, tendo em vista os métodos de dimensionamento DNIT (1981) e MeDiNa (2018), método empírico e método empírico-mecanicista, respectivamente, recomenda-se a aplicação do método empírico-mecanicista, para que não ocorram patologias que comprometam o conforto e a segurança dos usuários do pavimento no período para o qual foi projetado.

Dessa forma, devido à importância da análise comparativa entre os métodos DNIT (1981) e MeDiNa (2018), e diante da implantação do novo método de dimensionamento empírico-mecanicista no país, este tema precisa continuar sendo explorado. Possibilitando assim, a realização de mais pesquisas relacionadas ao emprego dos materiais nas camadas da estrutura, através da aplicação de diferentes intensidades de tráfego, proporcionando uma análise mais detalhada do comportamento da estrutura em comparação aos dois métodos estudados.

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1986). *Ensaio normal de compactação de solos* (ABNT NBR 7182: 1986).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1987). *Solo - Índice de Suporte Califórnia - Método de ensaio* (ABNT NBR 9895: 1987).
- Araújo, M. A., Santos, M. J. P., Pinheiro, H. P., & Cruz, Z. V. (2016). Análise Comparativa de Métodos de Pavimentação – Pavimento Rígido (concreto) x Flexível (asfalto). *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento*, 10(11), 187-196.
- Beckert, K. E. K., Endres, L. P., Júnior, C. L. S. R., & Brito, L. A. T. (2020, 16 a 21 de novembro). *Comparação entre o novo método de dimensionamento e a avaliação dos pavimentos flexíveis das estradas brasileiras* [Resumos]. 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, Online.
- Chiarello, G. P., Pascoal, P. T., Santos, T. A., Pereira, D. S., & Gerging, R. P. (2019, 10 a 14 de novembro). *Avaliação estrutural e financeira de pavimento flexível dimensionado pelo método do DNER (1981) e MEDINA (2019): Estudo de caso da duplicação da BR 287 - trecho Santa Cruz do Sul à Tabai/RS* [Resumos]. 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, Balneário Camboriú.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1998). *Agregados - Determinação da abrasão "Los Angeles"* (DNER-ME 035-1998).
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1995). *Misturas betuminosas a quente - Ensaio Marshall* (DNER-ME 043-1995).
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994). *Solos - Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas - Método de Ensaio* (DNER-ME 049-1994).
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994). *Misturas betuminosas - Percentagem de betume* (DNER-ME 053-1994).
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994). *Solos – Ensaio de compactação utilizado amostras trabalhadas* (DNER-ME 162-1994).
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2020). *Guia para Execução de Segmentos Experimentais - PRO MeDiNa* (IPR. Publ.,749). Instituto de Pesquisas Rodoviárias.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2006a). *Manual de Estudos de Tráfego* (IPR. Publ., 723). Instituto de Pesquisas Rodoviárias.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2006b). *Manual de Pavimentação* (IPR. Publ. 719). Instituto de Pesquisas Rodoviárias.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2010). *Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas* (IPR. Publ. 740). Instituto de Pesquisas Rodoviárias.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2010). *Pavimentação - Solos: Determinação do Módulo de Resiliência - Método de ensaio* (DNIT-ME 134-2010).
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2010). *Pavimentação Asfáltica - Misturas asfálticas: Determinação do Módulo de Resiliência - Método de ensaio* (DNIT-ME 135-2010).
- Franco, F. A. C. P., & Motta, L. G. (2020). *Manual de Utilização do programa MeDiNa: Apresentação dos programas*. Projeto DNIT TED nº682/2014. Convênio UFRJ/DNIT.
- Fritzen, M. A. (2016). *Desenvolvimento e validação de função de transferência par previsão do dano por fadiga em pavimentos asfálticos*. [Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro].
- Júnior, V. S. B., Kraemer, K. W., Pereira, R. S., Baroni, M., & Specht, L. P. (2018, 4 a 7 de novembro). *Deformação permanente em misturas asfálticas com diferentes ligantes asfálticos e adição de cal a partir do ensaio uniaxial de carga repetida* [Resumos]. 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, Gramado - RS.
- Knabben, R. M., & Carpio, J. A. V. D. (2018). *O guia prático para a utilização do software MeDiNa de dimensionamento de pavimentos flexíveis*. <https://metodomedina.com.br/>
- Martínez, M. D., & Perez, I. (2015). Mechanistic-empirical pavement design guide: features and distinctive elements. *Revista la construcción*, 14(1), 32-40.
- Medina, J., & Motta, L. M. G. (2015). *Mecânica dos Pavimentos* (3 ed.). Editora Interciência.
- Neto, R. S. B., Parreira, A. B., & Motta, L. M. G. (2005, 24 a 26 de agosto). *Estudo comparativo de três métodos de projeto de pavimentos flexíveis utilizados no Brasil* [Resumos]. 36º Reunião Anual de Pavimentação, Curitiba - PR.
- Pandolfo, D. K., Echeverria, J. A. S., & Specht, L. P. (2016). Análise mecânica de um pavimento flexível restaurado a partir do MR obtido em diferentes softwares de retroanálise com dados de viga Benkelman. *Revista de Engenharia Civil IMED*, 3(2), 71–86.
- Pitangui, L. C. (2019). *Análise comparativa do método do DNER com o método empírico-mecanicista MeDiNa*. [Monografia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília].
- REDE. (2010). *Manual de execução de trechos monitorados*. Rede Temática de Asfaltos: Petrobras.
- Rossato, F. P. (2015). *Avaliação do fenômeno de fadiga e das propriedades elásticas de misturas asfálticas com diferentes ligantes e variadas temperaturas*. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria].

Santiago, L. S., Silva, S. A. T., & Soares, J. B. (2018). Determinação do dano em pavimentos asfálticos por meio da combinação do modelo S-VECD com análises elásticas. *Revista Transportes*, 26(2), 31-43.

Santos, T. A., Pinheiro, R. J. B., Specht, L. P., & Brito, L. A. T. (2020). Análise do desempenho de subleitos rodoviários à luz de conceitos da Mecânica dos Pavimentos. *Revista Matéria*, 25(3).

Silva, J. E. G. (2018). *Método Nacional de Dimensionamento de Pavimentos – MEDINA: Avaliação da duplicação da AL-145*. [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Alagoas].

Silva, T. O., Brasil Silva, N. A., Pitanga, H. N., & Marques, G. L. O. (2021). Use of mechanistic-empirical method of pavement design for performance sensitivity analysis to asphalt pavement fatigue. *Revista Matéria*, 26.

Silva, Y. D., Godoi, L. C., & Holz, R. F. (2019, 10 a 14 de novembro). *Análise comparativa de custos entre métodos de dimensionamento de pavimentos asfálticos: AASHTO, DNIT E MeDiNa* [Resumos]. 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, Balneário Camboriú.

Sousa, M. N. (2019). *Dimensionamento de Estruturas de Pavimento: Aplicação do Método DNER (1981) e do Método MEDINA*. [Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal de Santa Catarina].

Vendrusculo, J. I., Pascoal, P. T., Santos, T. A., Bueno, L. D., & Pinheiro, R. J. B. (2018, 4 a 7 de novembro). *Comparação entre pavimentos dimensionados com os métodos do DNER (1981) e MEDINA (2018): Estudo de caso com solos de subleito da cidade de Santa Maria/RS* [Resumos]. 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, Gramado - RS.

VIA-040. (2017). *Relatório Final - Recurso de Desenvolvimento Tecnológico RDT: desempenho dos pavimentos e relação campo-laboratório*.

Zago, J. P. (2016). *Estudo da deformação permanente de três solos típicos de subleitos rodoviários de Santa Maria – RS*. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria].