

CONTRIBUIÇÃO PARA O DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS PELO MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO

Bruno Cavalcante Mota

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Resumo: O Brasil é um país com uma elevada área territorial. O modo de transporte mais participativo é o rodoviário, com 61% do tráfego de mercadorias e 95% de passageiros. Dessa forma, essas estruturas necessitam fornecer segurança e conforto aos seus usuários. O pavimento pode ser definido, então, como uma estrutura formada por múltiplas camadas com espessuras finitas, construídas numa superfície regularizada de terraplenagem. Assim, o objetivo geral deste trabalho foi comparar os dois métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis, a fim de explanar as principais considerações sobre cada. Para isso, foram descritos os dois métodos (empírico e mecanístico-empírico) e discutidas pesquisas que abordam a temática. Ainda, foram simuladas estruturas de pavimento no software MeDiNa e tecidas análises. Com a observação dos resultados, foi possível constatar a necessidade de implementação do método mecanístico-empírico e de estudo das variáveis de projeto, como módulo de resiliência, deformação permanente e tráfego.

Palavras-chave: Pavimentação. MeDiNa. CBR. Projeto.

Abstract: Brazil is a country with a large territorial area. The most participative mode of transportation is road, with 61% of the goods traffic and 95% of the passengers. Thus, these structures need to provide safety and comfort to their users. The pavement can be defined, then, as a structure formed by multiple layers with finite thickness, built on a regularized earthwork surface. Thus, the general objective of this paper was to compare the two design methods for flexible pavements, in order to explain the main considerations about each one. To this end, the two methods (empirical and mechanistic-empirical) were described and research on the subject was discussed. Furthermore, pavements structures were simulated in the MeDiNa software and analyzed. With the observation of the results, it was possible to verify the need for the implementation of the mechanistic-empirical method and the study of design variables, such as resilience modulus, permanent deformation and traffic.

Keywords: Pavement. MeDiNa. CBR. Design.

1. Introdução

O Brasil é um país de dimensões continentais. Para que haja o transporte de pessoas e cargas são necessárias malhas e modais de transportes que atendam às necessidades para um amplo desenvolvimento econômico. O modal rodoviário detém da maior participação, correspondendo a aproximadamente 61% do tráfego de mercadorias e 95% do de passageiros perante a matriz de transportes brasileira. Esses índices destacam a relevância da infraestrutura rodoviária para o crescimento do país e para o fornecimento de direitos essenciais à sua população (CNT, 2019).

Dessa forma, projetar uma estrutura rodoviária de forma que possibilite conforto, segurança e trafegabilidade aos seus usuários torna-se um desafio. Assim, visando atender a demanda de infraestrutura rodoviária, o Brasil necessita avançar quanto a quantidade e qualidade de suas rodovias. Mesmo com a extensa dimensão territorial, o país possui apenas 1.720.700 km de rodovias, sendo que apenas 12,4% destas são pavimentadas. Quando

comparada a disponibilidade de rodovias pavimentadas com outros países de dimensões territoriais semelhantes, a do Brasil é considerada baixa, representando apenas 25,1 km a cada 1.000 km² de área (CNT, 2019).

De acordo com Balbo (2007), o dimensionamento de um pavimento ocorre a partir da determinação das espessuras de suas camadas e dos seus materiais constituintes. A partir disso, é possível projetar uma estrutura que resista ao carregamento derivado do volume de tráfego e das condições climáticas do ambiente no qual será construído. Atualmente, o método de dimensionamento de pavimentos adotado no Brasil segue a premissa de adoção do Índice de Suporte de Califórnia (ISC) ou, do inglês, *California Bearing Ratio* (CBR), sendo do tipo empírico. Contudo, devido a esse método não considerar a influência de cargas dinâmicas no pavimento, torna-se obsoleto para a situação do tráfego brasileiro. Assim, em 2020 começou a ser implementado no Brasil o método mecanístico-empírico para dimensionar pavimentos, intitulado Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa), em homenagem a Jacques Medina, um de seus preceptores.

Conforme Fonseca (2013), o dimensionamento e a análise de um pavimento por meio do método mecanístico-empírico evidenciam vantagens como a formulação de modelos de previsão da vida útil dos materiais utilizados ao considerar o estudo do conjunto dos materiais empregados e um grupo de variáveis, como as propriedades elásticas de cada material. Assim, Balbo (2007) ressalta que os conceitos da mecânica são utilizados para formular os modelos teóricos aplicados no método mecanístico-empírico.

Diante do apresentado, o problema de pesquisa deste trabalho está relacionado a necessidade de difusão do novo método para que as rodovias brasileiras sejam projetadas de forma a terem o seu tempo de serviço equivalente ao tempo de vida útil projetado. Logo, o objetivo geral foi analisar o método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos flexíveis, a fim de explanar as principais considerações sobre ele.

2. Revisão bibliográfica

O pavimento rodoviário

O pavimento pode ser definido como uma estrutura formada por múltiplas camadas com espessuras finitas, construídas numa superfície regularizada de terraplenagem. Ele é destinado técnica e economicamente a resistir às cargas devido ao tráfego de veículos e do clima, bem como proporcionar aos usuários condições adequadas de rolamento, conforto, economia e segurança. Ainda, ele pode ser classificado como flexível, rígido ou semirrígido, conforme os materiais constituintes (BERNUCCI *et al.*, 2008).

A estrutura classificada como flexível possui um revestimento asfáltico, uma camada de base, uma de sub-base e, se necessária, uma de reforço do subleito. Enquanto isso, o rígido possui revestimento com placas de concreto, que funcionam também como camada de base, possuindo ainda uma camada de sub-base. Nesse caso, havendo uma camada de base de material cimentício, a espessura da placa de concreto pode ser reduzida. Os semirrígidos são aqueles com revestimento asfáltico, mas que possuem uma base com materiais cimentícios, sendo os mais comuns a cal e o cimento (BERNUCCI *et al.*, 2008).

As camadas de base, sub-base e reforço do subleito são de grande importância estrutural. Por meio da combinação de materiais e suas espessuras, elas permitem a limitação das tensões e deformações na estrutura do pavimento, reduzindo defeitos como a Deformação Permanente (DP), que juntas influenciam em 68% de sua ocorrência (HUANG, 2004).

Além da Deformação Permanente, outro defeito estrutural recorrente nos pavimentos asfálticos é a fadiga. De acordo com Colpo (2014), esse fenômeno ocorre devido a perda de resistência dos materiais constituintes e a um elevado ciclo de repetições de carga, ocasionando o trincamento da camada.

O dimensionamento de pavimentos asfálticos atualmente é realizado pelo método do DNIT (BRASIL, 2006), contudo, não considera o carregamento dinâmico do tráfego, impossibilitando a previsão e inclusão desses defeitos no método. Mas, desde 2019, está sendo implementando o Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) de pavimentos, sendo um método mecanístico-empírico, que contempla as cargas cíclicas.

Dimensionamento empírico

Por volta da década de 60, o engenheiro Murilo Lopes de Souza propôs o método empírico, que é baseado no critério do CBR, em que uma carga de 80 kN é considerada como o eixo-padrão, ou seja, um coeficiente de equivalência obtido nas pistas da AASHTO. Esse método foi adotado pelo DNIT para o dimensionamento de pavimentos rodoviários no Brasil (BALBO, 2007; MEDINA E MOTTA, 2015).

O método do DNIT utiliza de ábacos para contendo o tráfego e as condições de suporte do subleito para determinação da espessura das camadas. Dessa forma, a espessura é determinada para atender ao número de repetições do eixo-padrão, conhecido como o número N (BALBO, 2007; MEDINA E MOTTA, 2015). O ensaio de CBR é condição necessária para a aplicação do método, que é realizado conforme as diretrizes do Método de Ensaio (ME) 172 (BRASIL, 2006).

Assim, após a determinação inicial da espessura de cada camada, são usadas inequações para relacionar as espessuras totais encontradas a partir do ábaco de dimensionamento com os coeficientes de equivalência estrutural, determinando as reais espessuras das camadas e da estrutura final do pavimento.

Contudo, os solos considerados para a elaboração deste método baseiam em características de solo de fundação, com propriedades americanas, não sendo bem representados pelos solos tropicais brasileiros. Ainda, são considerados os materiais constituintes, o tráfego e estima apenas a utilização unicamente do asfalto no revestimento, sem considerar as novas tecnologias utilizadas para pavimentos flexíveis. Por fim, esse método também não prevê o surgimento de patologias como o afundamento de trilha de roda (ATR) e o trincamento por fadiga, decorrente da utilização e do tráfego atuante (PITANGUI, 2019).

Dimensionamento mecanístico-empírico

O Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) é desenvolvido com um software de mesmo nome, idealizado entre 2015 e 2018. Ele surgiu a partir da cooperação entre o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), contando ainda com a colaboração de outras universidades brasileiras e do Centro de Pesquisas da Petrobrás (CENPES) da Petrobrás (BARBOSA *et al.*, 2021).

O MeDiNa precisa, então, de uma ampla base de dados, coletados através de ensaios laboratoriais, como o estudo dos materiais naturais das jazidas e do solo de subleito que serão utilizados para compor as camadas de base, sub-base e reforço do subleito (BARBOSA *et al.*, 2021). Esses dados passam pelo conhecimento do subleito, como seu módulo de resiliência (MR) e curva de deformação permanente (DP). O número de equivalência de passagens do eixo-padrão, Número N, também é necessário para o correto funcionamento do software MeDiNa. Há sensibilidade a pequenas variações do Número N para os modelos empregados no programa, ressaltando a importância de esse parâmetro ser bem estimado (FRANCO E MOTTA, 2018).

De acordo com Nepomuceno (2019), o MeDiNa apresenta a vantagem de, por ser caracterizado como um software de dimensionamento mecanístico-empírico, prever os defeitos de ATR e

trincamento por fadiga. O cálculo de distorção incremental ou deformação em cada camada é a base para calcular as deformações permanentes previstas no MeDiNa. As trincas do tipo couro de jacaré são consideradas juntamente com as transversais e longitudinais, sendo assumido como o principal critério de ruptura dos pavimentos asfálticos, ao apresentarem uma porcentagem acima de 30%.

Comparações entre os métodos empírico e mecanístico-empírico

Diante do exposto, alguns pesquisadores investigaram a relação entre os dois métodos de dimensionamento e o impacto deles na vida útil do pavimento. Dentre as principais constatações encontra-se a de que o método de dimensionamento empírico é subdimensionado para tráfegos elevados, enquanto que o método mecanístico-empírico é superdimensionado para tráfegos leves.

Brito *et al.* (2021) avaliaram a estrutura de um trecho da BR-116 no Estado do Ceará, considerando o dimensionamento empírico e o mecanístico-empírico. O material da base foi um solo-brita e da sub-base foi uma areia argilosa. Para um Número N igual a $2,01 \times 10^8$, o método do DNIT resultou em espessuras de 12,5 cm para o revestimento, 15 cm para a base e 17 cm para a sub-base. Enquanto isso, o método MeDiNa resultou em uma camada de revestimento de 35,9 cm, sendo 10 cm de capa e 25,9 cm de binder, ambos de Concreto Asfáltico (CA), uma camada de base de 20 cm e uma sub-base de 30 cm, mostrando que o trecho construído e dimensionado pelo método empírico está subdimensionado.

Barbosa *et al.* (2021) também compararam as estruturas de um pavimento com Número N de $1,2 \times 10^8$ para o segmento 1 e $5,4 \times 10^7$ para o segmento 3. O material da base e da sub-base foi um solo areno-argiloso para o método empírico. Para o método mecanístico-empírico, a base foi composta de solo-cimento e a sub-base de um solo argiloso. Dessa forma, no segmento 1 as espessuras para o método empírico foram 12,5 cm para o revestimento, 15 cm para a base e 15 cm para a sub-base e para o MeDiNa foram 12,5 cm, 22,5 cm e 15 cm, respectivamente. Para o segmento 3, com tráfego menor, as espessuras ficaram praticamente iguais, nas quais para o método empírico ficou a mesma estrutura do segmento 1 e para o método mecanístico-empírico a base do segmento 1 foi reduzida de 22,5 cm para 17,5 cm.

Silva e Santos (2021) simularam três cenários para uma estrutura anteriormente dimensionada pelo método empírico, anteriormente com um revestimento em Tratamento Superficial (TS) com 2,5 cm, uma base com areia, cascalho e cimento com 15 cm e uma sub-base com cascalho e cal hidratada de 15 cm. Para o cenário 1 foram utilizados os mesmos materiais e o mesmo tráfego, com $N = 1 \times 10^6$, resultando em 2 cm de revestimento asfáltico, 15 cm de base e 15 cm de sub-base. Na situação 2 o revestimento foi modificado para um concreto asfáltico com borracha, elevando a espessura para 10 cm, enquanto que a base e a sub-base permaneceram iguais. No cenário 3 foi considerado apenas concreto asfáltico, resultando em uma espessura de 5 cm, repetindo-se as mesmas espessuras de base e sub-base. Ao elevarem o tráfego para $N = 1 \times 10^7$, o revestimento da situação empírica foi modificado para concreto asfáltico, resultando em 7,5 cm, enquanto que para a mesma situação, no dimensionamento mecanístico-empírico o revestimento passou a ser 9,4 cm.

Dessa forma, diante dos estudos apresentados, observa-se que o método empírico está subdimensionando as estruturas dos pavimentos com tráfegos elevados, fazendo com que surjam defeitos como ATR e trincas por fadiga antes do fim de vida útil, geralmente programadas para 10 anos. Posto isso, ressalta-se a importância de implementar e adotar o Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) como universal nos projetos de dimensionamento de pavimentos, fazendo com que essas estruturas forneçam conforto e segurança aos seus usuários e não colapsem antes do tempo.

3. Estudo de caso

Para verificar a sensibilidade do dimensionamento mecânico-empírico foram dimensionadas estruturas de pavimentos com combinações diversas dos materiais apresentados na Tabela 1, como base e sub-base, considerando os tráfegos de $N = 5 \times 10^6$, 10^7 e 5×10^7 . Para a camada de revestimento foram utilizadas as diferentes classes de misturas asfálticas listadas no software MeDiNa. Para deformações permanentes foram adotados os valores da Tabela 2, considerando que Mistura 1 a 5 são misturas de solo com brita em várias proporções.

Tabela 1 – Materiais disponibilizados para base e sub-base

Tipo de material	Módulo de Resiliência (modelo composto: $MR = k1\sigma_3^{k2}\sigma_d^{k3}$) MR		
Solo puro	151,61	0,15	-0,58
Solo + Brita (85+15)%	382,61	0,15	-0,32
Solo + Brita (70+30)%	422,77	0,33	-0,49
Solo + Brita (55+45)%	508,44	0,44	-0,47
Brita graduada (100)%	1283,00	0,49	0,06
Solo subleito (MR = cte)	MR = 50 ou 150 ou 250 (MPa)		

Tabela 2 – Parâmetros de deformação permanente

Autor	Material	Parâmetros obtidos através do Modelo de Guimarães (2009)				
		$\epsilon_p (\%) = \psi_1 \times (\sigma_3)^{\psi_2} \times (\sigma_d)^{\psi_3} \times N^{\psi_4}$				
		ψ_1	ψ_2	ψ_3	ψ_4	R ²
Norback (2018)	LG'	0,32	-0,09	1,21	0,05	0,96
	NA'	0,57	0,71	0,27	0,05	0,77
	NG'	0,39	0,84	0,54	0,06	0,81
	Brita	0,34	-0,45	1,11	0,05	0,96
	Mistura 1	0,68	-0,29	1,12	0,03	0,99
	Mistura 2	0,44	-0,25	1,05	0,04	0,95
	Mistura 3	0,27	-0,14	1,33	0,06	0,98
	Mistura 4	0,24	-0,34	1,37	0,04	0,98
	Mistura 5	0,31	0,06	0,85	0,05	0,97
Lima (2020)	LA	0,086	-0,507	1,616	0,078	0,94
	NA	0,061	-1,298	2,368	0,074	0,95
	NS'	0,318	0,427	1,064	0,052	0,96
	NA'	0,152	-0,216	1,337	0,065	0,96
	LA'	0,130	-0,003	1,205	0,038	0,97
	NG'	0,219	0,258	1,420	0,056	0,94
	LG'	0,211	0,117	1,122	0,049	0,95
	BGS	0,082	-0,534	1,219	0,085	0,96

Para cada simulação, foi testado um MR distinto para o subleito. E, ainda, um tipo distinto de revestimento, conforme a base de dados do MeDiNa: (i) Concreto Asfáltico: (CAP 50/70 #12,5mm; CAP 30/45 #12,5mm) e (ii) Concreto Asfáltico com Borracha (Capflex B PG 64-22). Então, para cada tráfego, consideraram-se as 6 combinações apresentadas na Tabela 3, os três módulos de resiliência do subleito e os 2 tipos de revestimento testados.

Foram adotados os seguintes modelos de deformação permanente para os solos: (i) Solos+Brita (55+45)% - Mistura 5 da tabela 2; MS = 1,95 g/cm³; CP = 0,30; (ii) Solo+Brita (70+30)% - Mistura 2 da tabela 2; MS = 1,86 g/cm³; CP = 0,30; (iii) Solo+Brita (85+15)% - Mistura 1 da tabela 2; MS = 1,77 g/cm³; CP = 0,30; (iv) Brita graduada (BGS) – Lima (2020), MS = 2,28 g/cm³; CP =

0,30; (iv) Solo puro (NG) – Norback (2018), MS = 1,68 g/cm³; CP = 0,35; (v) Subleito (NA) – Norback (2018), MS = 1,68 g/cm³; CP = 0,40.

Tabela 3. Estruturas simuladas

Revestimento	R	R	R	R	R	R
Base	Solo+Brita (85+15)%	Solo+Brita (70+30)%	Solo+Brita (55+45)%	Brita graduada	Brita graduada	Brita graduada
Sub-base	Solo puro	Solo puro	Solo puro	Solo puro	Solo+Brita (85+15)%	Solo+Brita (70+30)%
Subleito	Subleito	Subleito	Subleito	Subleito	Subleito	Subleito

4. Análise e discussão dos resultados

O CAP 30/45 é mais consistente que o CAP 50/70, pois a penetração é menor. Assim, foi possível perceber pelo dimensionamento que as espessuras de revestimento para o CAP 50/70 eram maiores, por é composto de um ligante menos consistente. Em alguns casos, como para as situações de MR do subleito igual a 50 MPa, o revestimento com asfalto borracha apresentava espessuras menores que o de CAP 50/70. Ficando então na seguinte ordem de grandezas de espessuras: CAP 50/70 > Asfalto borracha > CAP 30/45. Para alguns casos específicos em que a porcentagem de brita era baixa (15%), nas situações de subleito com MR de 150 e 250 MPa, o asfalto-borracha apresentava as maiores espessuras. Contudo, quando se aumentava a porcentagem de brita, conseqüentemente aumentando a resistência da camada, a espessura do asfalto-borracha também era reduzida.

Quando o MR do subleito era aumentado, a espessura do revestimento era diminuída, fazendo com que a proteção para as camadas inferiores fosse menor, devido ao aumento da resistência do subleito, por apresentar um Módulo de Resiliência maior. Em alguns casos, não havia mudança da espessura da camada de revestimento quando o MR do subleito era aumentado de 150 MPa para 250 MPa, mas a porcentagem de área trincada era reduzida.

Outra observação importante foi relacionada ao afundamento de trilha de roda (ATR), que na medida que o subleito apresentava um aumento em seu módulo de resiliência, também ocorria um aumento desse defeito. Um dos parâmetros de análise é que um ATR acima de 12,5 mm já seria prejudicial para a estrutura do pavimento. Em algumas das simulações a estrutura como um todo apresentou ATRs maiores que esse, mesmo sendo dimensionada pelo software.

Ainda, foi observado que quando havia um aumento da porcentagem de brita na camada de base, por exemplo, passando de 15% para 30% e depois para 45%, a contribuição da base para o ATR diminuía, conseqüente diminuindo o afundamento do pavimento como um todo. A combinação com brita graduada apresentou espessuras maiores que a combinação de solo-brita com 55%-45% de composição, mostrando que uma estabilização granulométrica as vezes seja mais vantajoso que a utilização de um único material.

Quando foram testados tráfegos maiores, percebeu-se que a espessura do revestimento era aumentada em mais de 50% na maioria dos casos, ocasionando um aumento ainda da porcentagem de área trincada. Contudo, como a espessura do revestimento era acrescida, o afundamento de trilha de roda acabava sendo diminuído, pois havia uma espessura maior protegendo as camadas granulares. Em alguns casos foi necessário adicionar uma camada de binder com as mesmas configurações da camada de capa, pois era atingido o limite de 15 cm para a espessura da camada de revestimento.

Para o tráfego mais pesado, foi necessário incluir uma camada de reforço em todas as estruturas simuladas, com uma espessura de 40 cm. Ainda, também era necessário adicionar uma cada de binder no revestimento, pois em todos os casos o máximo de 15 cm era atingido.

Também foi possível perceber que o aumento da porcentagem de brita não diminuía a espessura do revestimento, ocasionando em um aumento para os casos em que havia a

modificação da porcentagem de 85-15% para 70-30% e posteriormente para 55-45%. Ocorria apenas uma diminuição da porcentagem de área trincada.

Entre as limitações, ressalta-se a necessidade de ter os modelos de módulo de resiliência e de deformação permanente para cada tipo de solo simulado, além das massas específicas do material e o coeficiente de Poisson. Sem esses dados fielmente ensaiados em laboratório, a análise pode não ocorrer de forma fidedigna, o que pode ser uma limitação das realizadas neste trabalho, visto que dados do modelo de deformação permanente, massas específicas e coeficientes de Poisson foram adotados com base na literatura. Algumas das estruturas dimensionadas foram apresentadas nas Tabela 4 e 5.

Tabela 4 – Dimensionamento de estruturas para $N = 5 \times 10^6$

Número $N = 5 \times 10^6$; Rev = 5,0 cm (DNIT)						
Camada	Material	Espessura (cm)	Contribuição de ATR	Material	Espessura (cm)	Contribuição de ATR
Revestimento	CA (50/70, #12,5)	11	0	CA (30/45, #12,5)	10,5	0
Base	Solo+Brita (85+15)%	40	9,3	Solo+Brita (85+15)%	40	9,47
Sub-base	Solo puro	40	0,85	Solo puro	40	0,85
Subleito	Subleito MR=50MPa	0	2,47	Subleito MR=50MPa	0	2,47
ATR (mm)			12,6			12,8
AT%	15,9			14,8		
Camada	Material	Espessura (cm)	Contribuição de ATR	Material	Espessura (cm)	Contribuição de ATR
Revestimento	CA (50/70, #12,5)	11,5	0	CA (30/45, #12,5)	11	0
Base	Solo+Brita (85+15)%	40	9,28	Solo+Brita (85+15)%	40	9,43
Sub-base	Solo puro	40	0,84	Solo puro	40	0,84
Subleito	Subleito MR=150MPa	0	2,61	Subleito MR=150MPa	0	2,61
ATR (mm)			12,7			12,9
AT%	13,6			12,6		
Camada	Material	Espessura (cm)	Contribuição de ATR	Material	Espessura (cm)	Contribuição de ATR
Revestimento	CA (50/70, #12,5)	12	0	CA (30/45, #12,5)	11,5	0
Base	Solo+Brita (85+15)%	40	9,02	Solo+Brita (85+15)%	40	9,15
Sub-base	Solo puro	40	0,89	Solo puro	40	0,89
Subleito	Subleito MR=250MPa	0	2,82	Subleito MR=250MPa	0	2,82
ATR (mm)			12,7			12,9
AT%	12,2			11,3		

Tabela 5 – Dimensionamento de estruturas para $N = 5 \times 10^6$ Número $N = 1 \times 10^7$; Rev = 7,5 cm (DNIT)

Camada	Material	Espessura (cm)	Contribuição de ATR	Material	Espessura (cm)	Contribuição de ATR
Revestimento	CA (50/70, #12,5)	13,8	0	CA (30/45, #12,5)	12,5	0
Base	Solo+Brita (85+15)%	40	7,63	Solo+Brita (85+15)%	40	8,26
Sub-base	Solo puro	40	0,7	Solo puro	40	0,72
Subleito	Subleito	0	2,14	Subleito	0	2,15
	MR= 50MPa			MR= 50MPa		
ATR (mm)			10,5			11,1
AT%	28,1			28,3		
Camada	Material	Espessura (cm)	Contribuição de ATR	Material	Espessura (cm)	Contribuição de ATR
Revestimento	CA (50/70, #12,5)	12,8	0	CA (30/45, #12,5)	11,7	0
Base	Solo+Brita (85+15)%	40	8,51	Solo+Brita (85+15)%	40	9,07
Sub-base	Solo puro	40	0,84	Solo puro	40	0,86
Subleito	Subleito	0	2,66	Subleito	0	2,68
	MR= 150MPa			MR= 150MPa		
ATR (mm)			12			12,6
AT%	28,4			28,2		
Camada	Material	Espessura (cm)	Contribuição de ATR	Material	Espessura (cm)	Contribuição de ATR
Revestimento	CA (50/70, #12,5)	12,5	0	CA (30/45, #12,5)	11,8	0
Base	Solo+Brita (85+15)%	40	8,85	Solo+Brita (85+15)%	40	9,11
Sub-base	Solo puro	40	0,92	Solo puro	40	0,92
Subleito	Subleito	0	2,9	Subleito	0	2,9
	MR= 250MPa			MR= 250MPa		
ATR (mm)			12,7			12,9
AT%	28,2			26,2		

5. Considerações finais

O estudo analisado permitiu analisar o dimensionamento mecânico-empírico para estruturas de pavimento, cumprindo o objetivo geral desta pesquisa. Essa análise permitiu observar a necessidade de realização de ensaios como módulo de resiliência (MR) e deformação permanente (DP) para o projeto de pavimentos, visto que estes são considerados no dimensionamento do MeDiNa e ajudam a prever defeitos como o afundamento de trilha de roda e o trincamento por fadiga.

Foi possível observar que para tráfegos elevados o dimensionamento empírico do DNIT subdimensiona as camadas, enquanto que os pavimentos dimensionados pelo MeDiNa resultam em estruturas mais robustas. Ainda foi destacado que o método do DNIT não considera o

comportamento dos solos tropicais existentes no Brasil, dessa forma, não representando de forma fidedigna os seus materiais.

Assim, destaca-se a necessidade de adoção universal do método MeDiNa, a implementação de um vasto banco de dados, resultado da realização de ensaios laboratoriais e estudos em trechos experimentais. Desse modo, torna-se possível que os pavimentos rodoviários brasileiros apresentem menos defeitos estruturais, fornecendo conforto e segurança aos usuários, baixos custos de manutenção ao governo e uma elevada vida útil à sua estrutura.

Agradecimentos

Os autores agradecem a bolsa de doutorado do autor, disponibilizada pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), por meio do PRH-04.

Referências

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARBOSA, D. S.; SILVA, D. C.; AGUIAR, M. F. M. Análise comparativa entre o novo método de dimensionamento nacional de pavimentos - MeDiNa e o método do DNIT. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, 35, 2021. **Anais [...]**. Online: ANPET, 2021.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS-ABEDA, 2008.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro: IPR, 2006.

BRITO, M. S.; MOTA, B. C.; OLIVEIRA, F. H. L.; BARROSO, S. H. A. Análise da influência do aumento de carga por eixo na estrutura do pavimento em um trecho da BR-116 no Ceará. In: Reunião Anual de Pavimentação, 46, 2021. **Anais [...]**. Brasília: ABPv, ABDER, 2021.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Condições das Rodovias**. Brasília: CNT, 2019.

COLPO, G. B. **Análise de fadiga de misturas asfálticas através do ensaio de flexão em viga quatro pontos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

FONSECA, L. F. S. **Análise das soluções de pavimentação do programa CREMA 2a Etapa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

FRANCO, A. C. P.; MOTTA, L. M. G. **Análise elástica de múltiplas camadas**. Manual de Utilização. Versão 2.4. Rio de Janeiro, 2018.

HUANG, Y. H. **Pavement Analysis and Design**. Kentucky: PEARSON, Prentice Hall, 2004.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.

LIMA, C. D. A. **Avaliação da deformação permanente de materiais de pavimentação a partir de ensaios triaxiais de cargas repetidas**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

NEPOMUCENO, D. V. **Avaliação em campo de estrutura de pavimento incorporado solo estabilizado com escória KR sujeita à carregamento com simulador HVS e comparação com previsões de desempenho segundo o novo método brasileiro de dimensionamento Medina.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.

NORBACK, C. **Caracterização do módulo de resiliência e da deformação permanente de três solos e misturas solo-brita.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

PITANGUI, L. C. **Análise comparativa do método do DNER com o método mecanístico-empírico MeDiNa.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

SILVA, L. M.; SANTOS, R. O. G. Estudo comparativo: método empírico do DNIT e mecanístico-empírico (Medina) no dimensionamento de pavimentos flexíveis. **Engineering Sciences**, v.9, n.1, p.114-124, 2021.