

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL: UM COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DNIT E MEDINA APLICADO A UM TRECHO DA AVENIDA MINAS GERAIS EM GOVERNADOR VALADARES (MG)

RESUMO

O modal rodoviário é a forma predominante de transporte no Brasil, representando cerca de 75% do movimento de cargas e passageiros. No entanto, a malha rodoviária do país conta com apenas 12,4% de suas estradas pavimentadas, mostrando um déficit de rodovias asfaltadas. Devido a essa carência e a importância deste sistema modal para o país, foi levantada a necessidade de uma nova metodologia para dimensionar pavimentos asfálticos, aprimorando o método atual do Departamento Nacional de Infraestrutura e Trânsito (DNIT). O novo método, chamado de Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa), incorpora tecnologias já utilizadas em outros países. O presente estudo objetivou comparar o dimensionamento do pavimento flexível para um trecho da Avenida Minas Gerais, próximo ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, *campus* Governador Valadares (IFMG-GV), usando os métodos empírico do DNIT e mecanístico-empírico do MeDiNa. Obteve-se como resultado que o pavimento dimensionado pelo método DNIT apresentou uma espessura maior de camadas e, ao fim do período de 10 anos, 80% de área trincada, sendo estas duas cerca de 50% maiores quando comparado ao método MeDiNa.

Palavras-chave: Rodovias. Dimensionamento de pavimentos. Método DNIT. Método MeDiNa.

FLEXIBLE PAVEMENT SIZING: A COMPARISON BETWEEN THE DNIT AND MEDINA METHODS APPLIED TO A SECTION OF AVENIDA MINAS GERAIS IN GOVERNADOR VALADARES (MG)

ABSTRACT

Road transport is the predominant form of transport in Brazil, representing around 75% of cargo and passenger movement. However, the country's road network has only 12.4% of its roads paved, showing a deficit of paved roads. Due to this lack and the importance of the system for the country, the need for a new methodology for sizing asphalt pavements was raised, improving the current method of the National Department of Infrastructure and Traffic (DNIT). The new method, called the National Sizing Method (MeDiNa), incorporates technologies already used in other countries. The study in question compares the design of flexible pavements on Avenida Minas Gerais, close to the Federal Institute of Science and Technology of Minas Gerais, *campus* Governador Valadares (IFMG-GV), using the empirical method of DNIT and the mechanistic-empirical method of MeDiNa. The result was that the pavement designed using the DNIT method showed a greater thickness of layers and, at the end of the 10-year period, 80% of the cracked area, these two being around 50% larger when compared to the MeDiNa method.

Keywords: Highways. Pavement sizing. DNIT method. MeDiNa method.

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura de transporte, inclusive a rodoviária, tem um papel fundamental no desenvolvimento e crescimento do país, sobretudo no aspecto econômico. O Banco de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais (BDMG), em seu relatório “Minas Gerais do Século XXI” destacou a importância da infraestrutura no estado e no país e cita que sua adequada provisão tem mostrado ser capaz de potencializar ganhos de eficiência no sistema produtivo (COUTINHO, 2011).

Estudos apresentados pela Confederação Nacional do Transporte (2022) na Pesquisa de Rodovias, apontam que, atualmente, a malha rodoviária brasileira conta com 1.720.909,0 km, sendo este modal, segundo Resende (2018), a principal forma de locomoção de pessoas e cargas no país, correspondendo cerca de 75%. No entanto, estima-se que apenas 12,4% (cerca de 213.500,0 km) estão asfaltados, que implica em uma malha pavimentada deficitária.

Coutinho (2011) enfatiza que, diante da importância e relevância das rodovias, e em função da necessidade de crescimento da malha rodoviária brasileira, uma nova metodologia de dimensionamento de pavimentos asfálticos deve ser implementada, uma vez que se utiliza desde 1966 o método do DNIT. Embora este método seja ainda muito empregado até os dias atuais, se faz necessário pensar em novas metodologias de dimensionamento capazes de analisar e maximizar as potencialidades dos materiais e suas inter-relações nas camadas dos pavimentos, buscando projetos mais econômicos, eficientes e estruturas mais duráveis.

Neste contexto, tem-se um novo método de dimensionamento de pavimentação asfáltica denominado de MeDiNa, o qual trata-se de uma atualização da técnica utilizada no Brasil, desde a década de 1960, e inclui tecnologias já adotadas em outros países (DNIT, 2010). Essa metodologia utiliza um programa computacional denominado MeDiNa, o qual realiza a verificação do dimensionamento das estruturas de pavimentos por meio da rotina de Análise Elástica Múltipla de Camadas (AEMC).

Diante disto, o presente estudo objetivou comparar estes dois métodos (DNIT e MeDiNa) para dimensionamento de pavimentos flexíveis. Para tanto, considerou um trecho da Avenida Minas Gerais, o qual se localiza próximo ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, *campus* Governador Valadares (IFMG-GV). Este trecho tem grande relevância, sendo esta avenida uma das principais da cidade de Governador Valadares, interligando diferentes bairros, bem como importantes rodovias federais (BR-381, BR-451, BR-259 e BR-116). Também é o principal acesso IFMG-GV, instituição que promove a educação básica, profissional e superior através da oferta de cursos técnicos integrados,

subsequentes, bacharelados e pós-graduação, além do desenvolvimento de pesquisas voltadas para o município e região.

Por fim, o estudo objetivou, especificamente, a realização de uma pesquisa bibliográfica e desenvolvimento de um referencial teórico; o levantamento do tráfego local para estabelecer o Volume Diário Médio (VDM) e o Número de Solicitações do Eixo-Padrão (Número N), bem como o dimensionamento das camadas, espessuras e materiais do pavimento flexível utilizando os dois métodos mencionados. Por fim, foi realizada uma análise comparativa entre os dimensionamentos obtidos com os dois métodos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Definição, classificação e estrutura dos pavimentos

Entende-se por pavimento uma estrutura de camadas com diferentes materiais e espessuras, destinada a resistir aos esforços impostos pelo tráfego de veículos e do clima, a fim de propiciar aos usuários melhoria nas condições de tráfego, com conforto e segurança, e com o mínimo de custo possível (BERNUCCI *et al.*, 2022). Dentre as funções de um pavimento, têm-se: resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos dos veículos; melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; e, resistir aos esforços horizontais que nela atuam tornando mais durável a superfície de rolamento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1982).

De acordo com o DNIT (2006a), o pavimento flexível é definido como aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Em relação a sua estrutura, os pavimentos flexíveis de maneira geral apresentam um sistema padrão de quatro camadas: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito, conforme ilustrado na Figura 1 (BERNUCCI *et. al*, 2022).

Embora os pavimentos flexíveis apresentem esta estrutura padrão, são admitidas variações, visto que algumas camadas podem ser retiradas ou acrescentadas, por consequência do tráfego local ou pelos materiais disponíveis na região (BERNUCCI *et. al*, 2022).

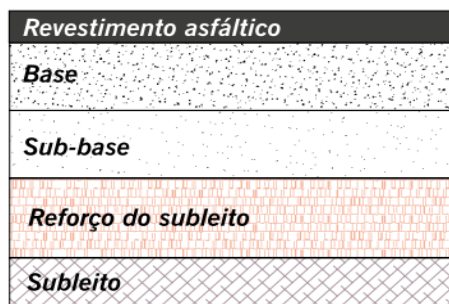


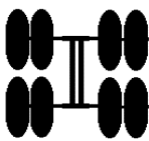
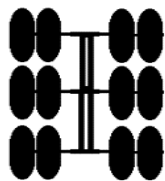
Figura 1 – Camadas de um pavimento flexível

Fonte: BERNUCCI *et. al* (2022).

Junto à escolha das camadas que irão compor o pavimento, tem-se a definição das espessuras das mesmas e dos materiais a serem utilizados. Especificamente em relação ao pavimento flexível, que é o foco deste estudo, a maior parte dos esforços são de tração e compressão, devido à flexão que esta estrutura é submetida. Por esse motivo, para as camadas de base, sub-base e reforço do subleito há uma predominância na escolha de materiais granulares (não-coesivo) ou o uso do próprio solo, visto que estes materiais trabalham a compressão, enquanto os materiais asfálticos (coesivos) atuam na resistência à tração (BERNUCCI *et. al*, 2022).

2.2 Dimensionamento do pavimento

Os automóveis são classificados em veículos leves e comerciais - articulados, não articulados, com reboque e de maiores dimensões (DNIT, 2005). Para o cálculo das tensões do tráfego rodoviário, como as forças verticais, confinamento, flexão e cisalhamento, considera a estrutura de eixo-rodas, conforme apresentado no Quadro 1.

Eixo simples (ES)		Eixo Tandem (ET)	
Roda simples (ESRS)	Roda dupla (ESRD)	Duplo (ETD)	Triplo (ETT)
 Exemplo: carro.	 Exemplo: ônibus.	 Exemplo: caminhão.	 Exemplo: caminhão.

Quadro 1 – Classificação de eixos e rodas

Fonte: Autores, 2023.

Além de considerar a passagem das rodas dos veículos, também é importante avaliar a distribuição de seus pesos sobre a via, estabelecendo exatamente quais tensões serão aplicadas no pavimento asfáltico. Neste sentido, a Resolução nº 882, de 13 de dezembro de 2021 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) estabelece as cargas máximas que os veículos, em relação ao seu respectivo sistema eixo-rodas, podem transportar (Tabela 1). Estes valores devem ser considerados nos métodos de dimensionamentos.

Tabela 1 – Cargas máximas legais vigentes no Brasil (em tonelada-força)

Eixo	Carga máxima legal (TF)
ESRS	6,11
ESRD	10,19
ETD	17,33
ETT	26,00

Fonte: Adaptado BALBO (2007).

Além da classificação dos veículos por eixo e a determinação das suas cargas máximas, é necessário realizar a contagem volumétrica de veículos na via durante um período qualquer do ano que se tenha tráfego comum comercial, ou seja, não podendo ser realizada em período de férias escolares, por exemplo. Para o registro desse volume utiliza-se fichas propostas no Manual de Estudos de Tráfego do DNIT. Este levantamento pode ocorrer de forma visual, com a ajuda de uma câmera de filmagem para prevenir erros de contagem, sendo o método mais indicado pelo Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006b).

2.2.1 Método DNIT para dimensionamento de pavimento flexível

O método empírico do DNIT foi desenvolvido em meados de 1920 para resolver problemas advindos das rodovias da Califórnia – Estados Unidos das Américas. Tal método foi o primeiro a ser implementado no Brasil, onde o estudo fundamental orientou-se da análise puramente empírica (COUTINHO, 2011).

Este método utiliza, para dimensionamento das camadas do pavimento, o valor da resistência do solo, obtido através do ensaio *California Bearing Ratio* (CBR) ou do ensaio Índice de Suporte Califórnia (ISC) cujos resultados são apresentados em percentual (SILVA, 2018). De acordo com o CBR ou ISC, os solos ensaiados são classificados quanto a sua

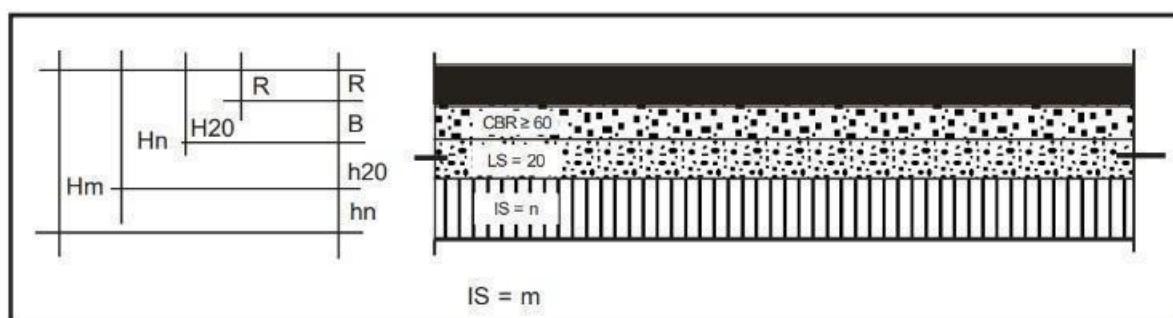
utilização, sendo os mesmos indicados para compor determinadas camadas do pavimento, conforme descrito no Quadro 2 (DNIT, 2006a).

Camada	Condições e restrições
Materiais do subleito	Devem apresentar uma expansão máxima, medida no ensaio CBR de 2%, e um $\text{CBR} \geq 2\%$.
Materiais para reforço do subleito	Devem apresentar CBR maior que o do subleito e expansão $\leq 1\%$.
Materiais para sub-base	Devem apresentar $\text{CBR} \geq 20\%$, Índice de Grupo (IG) = 0 e expansão $\leq 1\%$.
Materiais para base	Devem apresentar $\text{CBR} \geq 80\%$ e expansão $\leq 0,5\%$, Limite de Liquidez (LL) $\leq 25\%$ e Índice de Plasticidade (IP) $\leq 6\%$.

Quadro 2 – Condições e restrições gerais para o dimensionamento do pavimento

Fonte: Adaptado DNIT (2006a).

Posteriormente, define-se e dimensiona-se as camadas do pavimento (Figura 2), conforme a sua funcionalidade. A espessura mínima para as camadas compactadas deve obedecer à altura de 15 centímetros, onde as espessuras máxima e mínima não compactadas são de 20 e 10 centímetros, respectivamente (DNIT, 2006a).



R – Espessura da camada de revestimento;
 B – Espessura da camada de base;
 h20 – Espessura da camada de sub-base;
 hn – Espessura da camada de reforço do subleito;

H20 – Espessura do pavimento acima da sub-base;
 Hn – Espessura do pavimento acima do reforço do subleito e
 Hm – Espessura acima do subleito.

Figura 2 – Espessura das camadas do pavimento

Fonte: Adaptado DNIT (2006a).

Para o dimensionamento das espessuras das camadas do pavimento, considera-se os coeficientes de equivalência estrutural (Tabela 2), os quais referem-se aos tipos de solos, suas resistências, elasticidade e demais propriedades para cada camada.

Tabela 2 – Coeficiente de equivalência estrutural

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento do concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,7
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência a compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Fonte: DNIT (2006a).

As espessuras das camadas de base e revestimento, sub-base e, opcionalmente, de reforço são determinadas através do Ábaco (Anexo I) considerando os coeficientes e o sistema de Inequações (1), (2) e (3):

$$(R \times K_R) + (B \times K_B) \geq H_{20} \quad (1)$$

$$(R \times K_R) + (B \times K_B) + (h_{20} \times K_S) \geq H_n \quad (2)$$

$$(R \times K_R) + (B \times K_B) + (h_{20} \times K_S) + (h_n \times K_{ref}) \geq H_m \quad (3)$$

Sendo, KR (revestimento), KB (base), KS (sub-base) e KRef (reforço).

O dimensionamento do revestimento betuminoso do pavimento é feito a partir do número de repetições do Eixo-Padrão (N), definido pelo DNIT (2006b) como o número de repetições de um eixo-padrão de 8,2 tf ou 80 kN, onde, durante o período de projeto, representa o mesmo efeito que o tráfego previsto sobre a estrutura do pavimento teria. De acordo com o valor de N, o método DNIT indica uma espessura adequada, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Espessura mínima de revestimento betuminoso

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimento betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N \geq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNIT (2006a).

A Equação (4) apresenta a fórmula para o cálculo de N:

$$N = V_t \times FV \quad (4)$$

As variáveis da fórmula Volume Total do Tráfego (V_t) e Fator de Veículo (FV) são obtidas através das Equações (5) e (7), respectivamente. O V_t corresponde à quantidade de veículos que transitam na via ao longo do tempo de projeção (P), a partir do volume diário médio de tráfego para o ano inicial (VDM) (DNIT, 2006b):

$$V_t = \frac{365 \times VDM \times [(1 + P \times t)^2 - 1]}{2 \times t} \quad (5)$$

Já o FV é determinado através dos fatores de operação de cada eixo, estes obtidos a partir da contagem volumétrica de veículos e sua porcentagem total na via.

A porcentagem de veículos está relacionada aos eixos de cada veículo e à equivalência (FEC) deste na frota do tráfego. Para isso, utiliza-se a Tabela 4, preenchida com os dados da

pesagem, com classificação dos veículos conforme Quadro 1. Os valores dos fatores de equivalência de carga (coluna 3) são obtidos pelas expressões apresentadas no Quadro 3, e os fatores de operação (coluna 4) referem-se ao produto entre os valores das colunas 2 e 3.

Tabela 4 – Determinação do fator de operações

(1)	(2)	(3)	(4)
	Porcentagem de veículos na via	Fator de equivalência de carga (FEC)	Fator de operação
Eixo simples (t)			
Eixo tandem (t)			

Fonte: Adaptado do DNIT (2006b).

Tipo de Eixo	Faixas de Cargas (t)	Expressão para cargas (P em ton.)
ESRS	0 - 8 ≥ 8	$FEC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$ $FEC = 1,832 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
ESRD	0 - 8 ≥ 8	$FEC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$ $FEC = 1,832 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
ETD	0 - 11 ≥ 11	$FEC = 1,592 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$ $FEC = 1,528 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
ETT	0 - 18 ≥ 18	$FEC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{3,3549}$ $FEC = 1,832 \times 10^{-6} \times P^{5,5789}$

Quadro 3 – Fatores de equivalência de carga

Fonte: Adaptado DNIT (2006b).

Com isso, é possível obter o Fator de Eixo (FE) que se refere a um número que, ao ser multiplicado pela quantidade de veículos que operam na via, resulta na quantidade de eixos correspondentes que atuam no pavimento. Este valor é obtido a partir do somatório da coluna 4, Tabela 4.

$$FE = \sum \text{Eixos de Operação} \quad (6)$$

A somatória da coluna 4 representa a porcentagem total de veículos que trafegam na região, e assim, é possível obter o FV, conforme Equação (7):

$$FV = \frac{FE}{100} \quad (7)$$

2.2.2 Método MeDiNa para dimensionamento de pavimento flexível

O método de dimensionamento MeDiNa é fundamentado na metodologia mecânica empírica, onde destaca-se o uso de fatores ambientais, tráfego, materiais e técnicas construtivas. Para os cálculos de dimensionamento deste método são considerados o coeficiente de Poisson e Módulo de Resiliência (MR), isto é, sua resposta elástica quando aplicada uma carga de curta duração, considerando os materiais da região e do subleito (DNIT, 2018). Com isto, adota-se uma estrutura inicial, definindo uma espessura adequada, e posteriormente, verifica-se as deformações e fadigas no pavimento (MEDINA; MOTTA, 2015).

Este método sugere alguns valores para estudos e projetos, visando auxiliar os cálculos da espessura de cada camada. As sugestões são obtidas por meio do ensaio de compressão diametral da carga repetida conforme a norma do DNIT 135/2018 (Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio), apresentados no Quadro 4.

Utiliza-se para o dimensionamento das camadas do pavimento asfáltico o *software* MeDiNa 2020 (versão 1.15.0), o qual auxilia nos cálculos de espessuras e verificações das camadas do pavimento. Desta maneira, basta inserir os dados, juntamente com os fatores e número N para poder realizar o dimensionamento do pavimento.

Camada	Material	Valores sugeridos para estudos e projetos (MPa)
Subleitos	Laterítico (ILA' e LG)	$MR = 22 \cdot CBR^{0,8}$
	Não laterítico (NS' NG')	$MR = 18 \cdot CBR^{0,64}$
	Arenoso pouco ou não coesivo (LA, NA e NA')	$MR = 14 \cdot CBR^{0,7}$
Sub-base	Granular	$MR = 18 \cdot (CBR_{REF})^{0,64} \cdot \sqrt[3]{\frac{3 CBR_{SL}}{CBR_{REF}}}$
Base	Granular	$100 \leq MR \leq 500$

	Asfáltica	$800 \leq MR \leq 1.000$
	Cimentada-BGTC	$5.000 \leq MR \leq 15.000$

Camada	Material	Valores sugeridos para estudos e projetos (MPa)
Revestimentos asfálticos	Concreto Asfáltico CAUQ	$3.000 \leq MR \leq 5.000$
	Pré-misturado à quente -PMQ Binder	$2.000 \leq MR \leq 2.500$
	Pré-misturado à frio-PMF ou macadame betuminoso	$1.400 \leq MR \leq 1.800$
	Selado-MB	$1.000 \leq MR \leq 1.400$

Quadro 4 – Estimativas de Módulo de Resiliência para diversos materiais

Fonte: Adaptado BALBO (2007).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa classifica-se como qualitativa de natureza aplicada. Para tanto, realizou-se um estudo de caso, tendo como objeto de estudo o trecho da via da Avenida Minas Gerais, localizado próximo ao IFMG-GV, conforme destacado na Figura 3.



Figura 3 – Trecho de estudo da Avenida Minas Gerais

Fonte: Google Earth (2023).

Para o desenvolvimento da pesquisa, a mesma foi dividida em três etapas. A primeira caracterizou-se pelo estudo bibliográfico através de publicações científicas, normas técnicas,

livros e demais referências que abrangeram a temática de pavimentação, com suas definições, funções, tipos e materiais mais utilizados. A segunda etapa consistiu no levantamento de campo e dimensionamento do pavimento utilizando os métodos DNIT e MeDiNa. E por fim, a terceira etapa que correspondeu à descrição e análise dos resultados obtidos.

3.1 Levantamento de campo

O levantamento do volume de veículos *in loco* ocorreu entre os dias 21 e 25 do mês de agosto de 2023 na portaria do IFMG-GV. A contagem ocorreu ao longo de sete horas por dia, divididos nos horários apresentados na Tabela 5, totalizando 35 horas de contagem dos eixos. Entretanto, o último turno da sexta-feira (dia 25/08) não foi contabilizado, visto que ocorreu uma forte chuva na cidade, com queda de algumas árvores que atrapalham o trânsito de maneira negativa para o estudo. Por esse motivo, para resultados mais precisos, foram consideradas 32 horas de contagem.

Tabela 5 – Turnos para o levantamento de campo

Período de coleta de dados (h)	Tempo total de contagem (h)
6:00 – 08:00	2
11:00 – 13:00	2
16:00 – 19:00	3

Fonte: Autores (2023).

Para a coleta, optou-se pela contagem visual, auxiliada pela Ficha de Contagem Volumétrica digital, e filmagem, esta última com o auxílio de um tripé e um aparelho celular, conforme ilustrado na Figura 4.



Figura 4 – Equipamento utilizado para levantamento de tráfego
Fonte: Autores (2023).

Considerou-se para efeitos de cálculo da projeção de crescimento do tráfego de veículos, o crescimento populacional de Governador Valadares (MG) de 0,55% ao ano (taxa de crescimento anual) conforme os dados retirados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010. Outros fatores que foram considerados:

- Tempo de projeto: 10 anos.
- Materiais escolhidos conforme disponibilidade regional, bem como suas características.

Foi adotado como Fator de Sentido (Fs) um valor que reflete uma pista simples de dois sentidos únicos, sendo assim, 50%. Foi dispensado o Fator de frota por faixa (Fd) e o Fator de frota comercial (Ff) uma vez que não houve projeção da via para mais de uma pista de tráfego e não há veículos significativos comerciais na região para considerá-los em cálculo, respectivamente.

4 RESULTADOS

No levantamento de campo realizou-se a contagem dos veículos e sua classificação conforme os eixos. Os dados coletados estão apresentados nos Quadros 5 e 6.

Veículos	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
----------	---------	-------	--------	--------	-------

Carros e vans	4655	5702	4188	5641	4892
Caminhões	106	74	62	47	32
Ônibus	40	36	43	49	37
Caçambas	299	241	237	201	103

Quadro 5 – Contagem volumétrica dos veículos

Fonte: Autores (2023).

Dia (24h)		Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Mediana
Eixos	ESRS	9750	11414	8376	11282	9784	9784
	ESRD	227	299	382	446	280	299
	ETD	203	211	256	139	64	203
	ETT	11	192	46	8	0	11

Quadro 6 – Contagem volumétrica dos eixos

Fonte: Autores (2023).

Durante a contagem, foi notório o grande volume de veículos específicos da construção civil, como caçambas e caminhões. Considera-se que há um grande desenvolvimento urbano na região e, neste sentido, estima-se que mais veículos usarão a via na região nos próximos anos. Além desses, foram observados alguns veículos de carga comercial, porém, não representaram uma frota significativa para destacar-se como um fator importante no dimensionamento.

Nos cinco dias foram registrados cerca de 26.685 veículos, sendo 95% composta por veículos leves de passeio. Destes, 6.000 transitaram apenas na terça-feira (dia com o maior número de automóveis trafegando na via). Com estes dados, determinou-se o VDM de 5.337 veículos por dia.

Com o VDM é possível encontrar o V_t considerando o crescimento anual da frota (t) ao longo de 10 anos e, posteriormente, o número N . Assim, substituindo os valores na Equação (5) tem-se 20.015.751 veículos.

Com o V_t definido, deve-se determinar o FV conforme a Tabela 4. Os dados coletados do Quadro 6 foram organizados e apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Fatores de operação da via em estudo

Carga (t)	Quantidade de eixos (%)	Fator de Equivalência de Carga (FEC)	Eixo de Operação
6,11	94,99	0,29	28,39
10,19	2,91	3,70	10,77
17,33	1,98	9,49	18,81
26,00	0,11	10,36	1,20

Fonte: Autores (2023).

Com estes valores, substituindo nas Equações (6) e (7), FE e FV são de 59,17 e 0,5917, respectivamente. Portanto, o Número N, conforme Equação (4) é de aproximadamente 11.843.000 vezes. Dessa forma, a pista receberá 10 cm de concreto betuminoso na camada de revestimento, conforme a Tabela 3.

O Quadro 7 apresenta os valores utilizados e resultados obtidos para o dimensionamento das camadas de acordo com o método DNIT.

Índices	Valores
H20 (cm)	29,39
Hn (cm)	29,39
Hm (cm)	49,10
Kr	2,00
Kb	1,00
Ks	1,00
R (cm)	10,00
B (cm)	9,39
SB (cm)	14,10

Quadro 7 – Valores adotados para método DNIT

Fonte: Autores (2023).

Para H20 e Hn foram considerados $N = 1,18 \times 10^7$ e $CBR = 20$, para Hm = 49,10 cm tem-se $N = 1,18 \times 10^7$ e $CBR = 8\%$. Estes foram extraídos do Quadro 2 e Ábaco 1, como um material adequado para o uso, todavia o material do subleito encontrado no local apresentou $CBR = 8\%$.

Os coeficientes K_R , K_B e K_S foram retirados da Tabela 2, enquanto os valores de B e SB foram extraídos das Inequações (1) e (2), considerando a camada de subleito sem reforço. Logo, Hm será a camada abaixo da sub-base. Além disto, foram adotadas camadas de 15 cm, por ser a espessura mínima definida pelo DNIT. O Quadro 8 apresenta os resultados mencionados.

Para o dimensionamento do pavimento com o uso da ferramenta MeDiNa, utilizou-se os mesmos valores de VDM, FV, N, taxa de crescimento e período de projeto do método DNIT. Esses dados são inseridos no *software* conforme Figura 6.

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
DADOS DO TRÁFEGO	
Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	5337
FV:	0,591
N anual (1º ano):	1,15e+06
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	1,15e+06
Taxa de crescimento (%):	0,6
Período de projeto (anos):	10
N Total:	1,18e+07

Figura 6 – Dados do tráfego no software MeDiNa
Fonte: MeDiNa (2023).

Após a inserção dos dados de tráfego, foi estabelecido a relação entre o CBR e MR dos materiais (Quadro 4) utilizados no dimensionamento DNIT, para que estes fossem utilizados no dimensionamento do MeDiNa.

- Revestimento – MR = 8.289 MPa
- Base – CBR 80%, MR = 398 MPa
- Sub-base – CBR 20%, MR = 398 MPa
- Subleito – CBR 8%, MR = 189 MPa.

Oteve-se como resultado uma camada total de 85 cm, conforme Quadro 8 que apresenta os resultados obtidos tanto pelo método DNIT quanto MeDiNa.

Camadas	Material	Método DNIT (cm)	Método MeDiNa (cm)
Revestimento	Concreto asfáltico	10,00	15,00
Base	Material granular	15,00	30,00
Sub-base	Material granular	15,00	40,00
Subleito	Solo siltoso NS'	-	-

Quadro 8 – Dimensionamento das camadas do pavimento conforme DNIT e MeDiNa
Fonte: Autores (2023).

Além do dimensionamento das camadas, o *software* MeDiNa oferece uma análise sobre:

- Nível de confiabilidade da análise;
- Área trincada estimada do pavimento no fim do período de projeto;

- Afundamento de trilha de roda.

A fim de comparar os dois métodos e analisar o comportamento da estrutura ao longo do tempo projetado, dimensionou-se as camadas obtidas pelo método DNIT no *software* MeDiNa. Entretanto, buscando realizar uma análise mais precisa e equiparada, utilizou-se o revestimento como 15 cm, ao invés de 10 cm. Isto porque o dimensionamento pelo MeDiNa resultou em uma camada de 15 cm e o mínimo exigido pelo DNIT era de 10 cm.

Neste contexto, obteve-se os seguintes resultados, apresentados no Quadro 9.

Análises	MeDiNa	DNIT
Nível de confiabilidade (%)	85,00	85,00
Área trincada estimada do pavimento no fim do período (%)	29,70	34,30
Afundamento de Trilha de Roda (mm)	4,40	2,90

Quadro 9 – Comparativo das análises pelos métodos DNIT e MeDiNa
Fonte: Autores (2023).

Ao analisar os resultados, percebe-se que o dimensionamento pelo DNIT apresentou uma espessura de camadas menor para o tráfego da região (45 cm), quando comparado ao método MeDiNa (85 cm).

Observa-se também que o método DNIT possui um maior valor de área trincada estimada do pavimento no fim do período de 10 anos, sendo cerca de quase 4,6% a mais que o dimensionado pelo método do MeDiNa. Entretanto, no método DNIT, o afundamento de trilha de roda apresentou um valor de 2,9 mm, enquanto o método MeDiNa apresentou 4,4 mm. Isto porque as camadas da base e sub-base do método DNIT são menores se comparadas ao dimensionamento pelo MeDiNa.

Quanto aos materiais utilizados, estes representam um fator crucial para as diferentes espessuras. No presente estudo estabeleceu-se o material adequado conforme o critério do DNIT e depois, propôs uma camada com o mesmo material pelo método do MeDiNa, conforme relação do Quadro 4. Isto foi realizado devido às limitações para ensaios de outros materiais para o dimensionamento.

5 CONCLUSÃO

A estrutura de um pavimento com suas camadas, espessuras e materiais, quando arranjadas da maneira correta, são garantia de uma maior durabilidade, segurança e conforto

aos usuários da pista. Sabendo da importância de um bom dimensionamento, comparou-se os dois métodos utilizados no Brasil atualmente.

Com base nos dimensionamentos realizados conclui-se que, de certa forma, há pouca mudança entre os materiais utilizados pelo método DNIT e MeDiNa. Entretanto, no quesito das espessuras, há uma diferença considerável.

O dimensionamento do MeDiNa apresentou uma espessura total quase duas vezes maior que a do método do DNIT, resultando em um comportamento melhor ao longo do tempo de projeto. Isto porque o MeDiNa leva em conta fatores não considerados no DNIT, como desgaste por fadiga, deformação e área trincada do pavimento. Entretanto, o método MeDiNa ainda é recente no Brasil, e está sendo desenvolvido e aprimorado.

Portanto, entende-se que as duas opções apresentam seus prós e contras no dimensionamento, porém, o MeDiNa conta com o auxílio do *software*, que aponta quesitos de trinca, deformações e outras informações que o pavimento pode sofrer, possibilitando um melhor conhecimento acerca do projeto ao longo dos anos.

Para futuros trabalhos, sugere-se que seja realizado um estudo voltado para a utilização e dimensionamento do pavimento rígido na portaria do IFMG-GV, visto que é um ambiente escolar, sujeito à ação de veículos de passeio e alguns mais pesados como ônibus, vans, micro-ônibus, entre outros. Além disso, para melhores resultados recomenda-se a realização de um ensaio em que se obtenha o valor dos módulos de resiliência para a inserção e análise de seu comportamento mais próximo do real no *software*.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7207: Terminologia e classificação de pavimentação**. Rio de Janeiro, pp. 1 e 2. 1982.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração**/ José Tadeu Balbo. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. pg,353.

BERNUCCI, et. al. **Pavimentação asfáltica: formação Básica para engenheiros**. 2 ed. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). **Pesquisa CNT de rodovias 2022**. Brasília, CNT, SEST SENAT, 2022.

COUTINHO, J. C. P. **Dimensionamento de Pavimento Asfáltico: Comparação do DNER com um Método Mecânico - Empírico a um trecho**. Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica da UFOP, Ouro Preto, Brasil, 2011.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Implantação Básica de Rodovia**. Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de Implantação Básica de Rodovia. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2010.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de pavimentação. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006a.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Projeto de Interseções**. Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de Projeto de Interseções. - Rio de Janeiro, 2005.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Tráfego**. Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de estudos de tráfego - Rio de Janeiro, 2006b.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA 135: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, p.2. 2018.

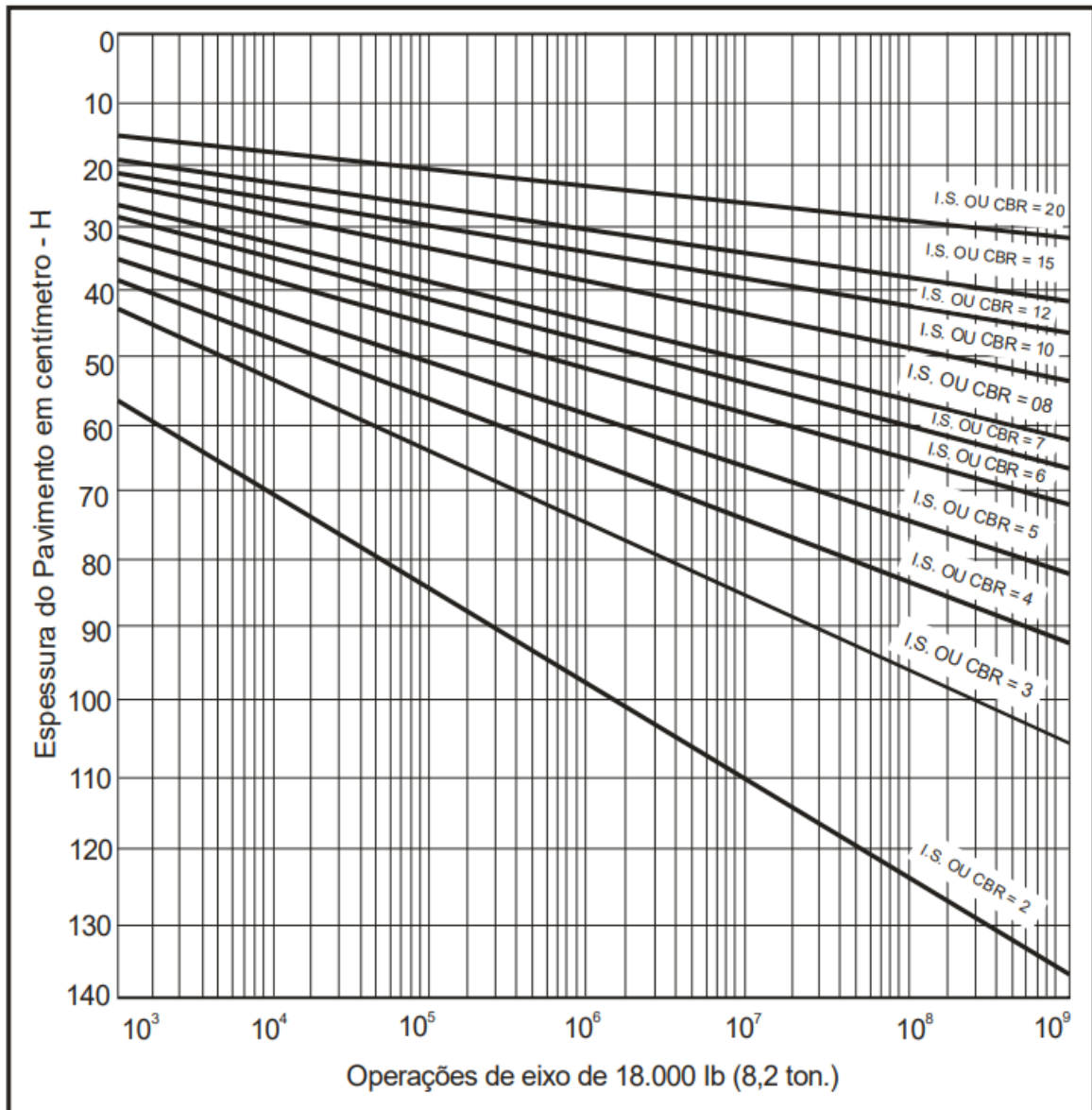
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Governador Valadares**. 2010. Disponível em: <cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/governador-valadares/panorama>. Acesso em: 3 de março de 2023.

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

RESENDE, et. al. **Custos Logísticos no Brasil**. Fundação Dom Cabral, 2018.

SILVA, J. E. G. – **Método nacional de dimensionamento de pavimentos-MeDiNa, avaliação da duplicação da AL-145**. – Alagoas, Curso de Engenharia Civil. 2018.

ANEXO I - Ábaco de relação entre espessura e ensaio CBR/Índice do solo



$$H_t = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598}$$

Fonte: DNIT (2006a)