

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

TAYNÁ MAYUMI NODA

**ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DIMENSIONADAS
PELOS MÉTODOS DNER E MEDINA**

CAMPO MOURÃO

2022

TAYNÁ MAYUMI NODA

**ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DIMENSIONADAS
PELOS MÉTODOS DNER E MEDINA**

**ANALYSIS OF FLEXIBLE PAVEMENTS STRUCTURES SIZED BY THE DNER
AND MEDINA METHODS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Dra. Eliana Fernandes do Santos

CAMPO MOURÃO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

TAYNÁ MAYUMI NODA

**ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DIMENSIONADAS
PELOS MÉTODOS DNER E MEDINA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 18 de novembro de 2022

Eliana Fernandes dos Santos
Doutorado em Infraestrutura de Transportes
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ewerton Clayton Alves da Fonseca
Doutorado em Geotecnia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

José Wilson dos Santos Ferreira
Doutorado em Geotecnia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO

2022

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, pois é graças ao esforço deles que concluo o meu curso.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Aos meus pais, Alessandra e Massayuki, por toda luta e dedicação para me proporcionarem uma educação de qualidade, por serem fonte de inspiração e exemplo. À minha mãe, por ter se mudado de cidade pra poder morar comigo, tornando essa jornada mais leve. Vocês foram essenciais nessa minha caminhada, sem medir esforços, amor, carinho e paciência me fizeram chegar até aqui, confiaram em mim, sendo meu alicerce em todos os momentos fazendo com que eu sempre seguisse em frente. Hoje, essa vitória é nossa e é tão brilhante quanto o futuro que comporemos juntos!

À minha família, que mesmo de longe me apoiou e incentivou a conclusão desse curso.

À minha orientadora, Prof. Dr^a. Eliana Fernandes dos Santos, por toda a paciência e dedicação, pelos ensinamentos transmitidos de uma forma carinhosa e exemplar. Aos professores que contribuíram para minha formação juntamente com toda a instituição UTFPR.

Aos membros da banca avaliadora Prof. Dr. Ewerton Fonseca e Prof. Dr. José Ferreira, pela disposição em participar deste trabalho, contribuindo com a sua melhoria.

Aos meus amigos, em especial ao Donizete Oliveira e Ruy Santos Ribeiro, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade e apoio ao longo de todo o período em que me dediquei a este trabalho.

Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo analisar as estruturas de pavimentos flexíveis dimensionadas pelos métodos empírico do Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER) e empírico-mecanicista Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa). Para a análise, foram considerados três níveis de tráfego distintos e parâmetros obtidos a partir de pesquisa bibliográfica para obtenção de dados que se assemelhassem à região de Campo Mourão, Paraná. O dimensionamento empírico considera o volume de tráfego e o valor do *California Bearing Ratio* (CBR) das camadas que compõem o pavimento, enquanto a metodologia empírico-mecanicista, contempla propriedades mecânicas dos materiais empregados, resultando numa avaliação da deformação permanente e das trincas por fadiga. Realizados os dimensionamentos, foram analisadas pelo *software* MeDiNa as estruturas obtidas por ambos os métodos. Observou-se, diferenças entre as espessuras das camadas para um mesmo tráfego e mesmos materiais. O método MeDiNa revelou pavimentos com camadas de revestimento de 50% a 100% mais espessas do que o método do DNER, que por sua vez, apresentou estruturas mais propensas a ocorrência de trincas por fadiga, chegando a estimativa de 99% de área trincada e maiores deformações permanentes. O novo método, ainda em fase de implantação necessita da análise de materiais e de suas propriedades por meio de ensaios mecânicos evidenciando a necessidade de adequação e desenvolvimento dos laboratórios e profissionais técnicos para a realização dos mesmos.

Palavras-chave: dimensionamento; pavimentos; MeDiNa; DNER

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze flexible pavement structures designed by the empirical methods of the National Department of Roads and Rodagens (DNER) and the empirical-mechanistic National Dimensioning Method (MeDiNa). For the analysis, three distinct traffic levels were considered and parameters obtained from bibliographical research to obtain data that resemble the region of Campo Mourão, Paraná. The empirical design considers the traffic volume and the California Bearing Ratio (CBR) value of the layers that make up the pavement, while the empirical-mechanistic methodology considers the mechanical properties of the materials used, resulting in the evaluation of permanent deformation and cracks by fatigue. Once the dimensioned were carried out, they were followed by the MeDiNa software as structures transited by both methods. Note the difference between layer thicknesses for the same traffic and materials. The MeDiNa method revealed pavements with coating layers 50% to 100% thicker than the DNER method, which, in turn, presented structures more prone to the occurrence of fatigue cracks, reaching an estimate of 99% of cracked area and greater permanent deformations. The new method, still in the implementation phase, requires the analysis of materials and their properties through mechanical tests, highlighting the need for development and development of laboratories and professional technicians to carry them out.

Keywords: Dimensioning; pavement; MeDiNa; DNER

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Estrutura do pavimento | 17 |
| Figura 2 - Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) - Classificação por penetração | 21 |
| Figura 3 - Esquema de componentes em uma mistura asfáltica compactada | 22 |
| Figura 4 - Volumetria em uma mistura asfáltica | 23 |
| Figura 5 – Dimensionamento do Pavimento..... | 29 |
| Figura 6 – Ábaco de dimensionamento de pavimentos flexíveis..... | 29 |
| Figura 7 – Interface do Software MeDiNa | 33 |
| Figura 8 – Propriedades da Camada de Revestimento..... | 36 |
| Figura 9 - Propriedades da Camada de Base | 36 |
| Figura 10 - Propriedades da Camada de Reforço do Subleito | 37 |
| Figura 11 - Propriedades da Camada de Subleito | 37 |
| Figura 12 – Estrutura do Pavimento 1 (DNER) | 39 |
| Figura 13 – Estrutura do Pavimento 2 (DNER) | 40 |
| Figura 14 – Estrutura do Pavimento 3 (DNER) | 41 |
| Figura 15 – Análise do Pavimento 1 (DNER) | 41 |
| Figura 16 – Estrutura do Pavimento 1 (MeDiNa)..... | 42 |
| Figura 17 – Análise do Pavimento 1 (MeDiNa) | 42 |
| Figura 18 – Análise do Pavimento 2 (DNER) | 43 |
| Figura 19 – Estrutura do Pavimento 2 (MeDiNa)..... | 43 |
| Figura 20 – Análise do Pavimento 2 (MeDiNa) | 43 |
| Figura 21 – Análise do Pavimento 3 (DNER) | 44 |
| Figura 22 – Estrutura do Pavimento 3 (MeDiNa)..... | 44 |
| Figura 23 – Análise do Pavimento 3 (MeDiNa) | 45 |
| Figura 24 – Pavimento 1 | 45 |
| Figura 25 – Pavimento 2 | 46 |
| Figura 26 – Pavimento 3 | 46 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Espessura mínima de revestimento betuminoso..... | 19 |
| Tabela 2 – CBR ^{IG} | 27 |
| Tabela 3 – Classificação dos materiais granulares empregados no pavimento | 27 |
| Tabela 4 – Coeficiente de equivalência estrutural..... | 28 |
| Tabela 5 – Critérios do MeDiNa | 32 |
| Tabela 6 – Número N empregado | 34 |
| Tabela 7 – Valores de CBR para dimensionamento | 35 |
| Tabela 8 – Coeficiente Estrutural | 35 |
| Tabela 9 – Espessuras das camadas do Pavimento 1..... | 38 |
| Tabela 10 – Espessuras das camadas do Pavimento 2..... | 39 |
| Tabela 11 – Espessuras das camadas do Pavimento 3..... | 40 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AEMC | Análise Elástica de Múltiplas Camadas |
| ANP | Agência Nacional do Petróleo |
| ATR | Afundamento de Trilha De Roda |
| CAP | Cimento Asfáltico de Petróleo |
| CBUQ | Concreto Betuminoso Usinado a Quente |
| CBR | California Bearing Ratio |
| CNT | Confederação Nacional do Transporte |
| DNER | Departamento Nacional de Estradas de Rodagens |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes |
| ES | Especificação de Serviço |
| FC | Fator de Carga |
| FE | Fator de Eixo |
| FR | Fator Climático Regional |
| FRN | Fundo Rodoviário Nacional |
| FV | Fator de Veículo |
| Gmb | Densidade Aparente da Mistura Asfáltica Compactada |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| ISC | Índice de Suporte California |
| ME | Método de Ensaio |
| MeDiNa | Método de Dimensionamento Nacional |
| MPa | Mega Pascal |
| MR | Módulo de Resiliência |
| NBR | Norma Brasileira |
| P | Período Projetado |
| RT | Resistencia à Tração |
| T | Taxa de Crescimento Anual |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal Do Paraná |
| Vm | Volume Médio de Veículos |
| VAM | Volume de Vazios Nos Agregados Minerais |
| VCB | Vazios Cheios com Betume |

Vt Volume Total de Tráfego
Vv Volume de Vazios

SUMÁRIO

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | OBJETIVOS | 14 |
| 2.1 | Objetivo Geral..... | 14 |
| 2.2 | Objetivos Específicos | 14 |
| 3 | JUSTIFICATIVA | 15 |
| 4 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 4.1 | Pavimento Flexível | 17 |
| 4.2 | Número N | 17 |
| 4.3 | CBR..... | 19 |
| 4.4 | Misturas Asfálticas..... | 20 |
| 4.5 | Ensaio Mecânicos..... | 23 |
| 4.6 | Métodos de Dimensionamento | 25 |
| 4.6.1 | Método DNER | 25 |
| 4.6.2 | Método medina..... | 30 |
| 4.6.2.1 | <i>Software</i> medina..... | 31 |
| 5 | METODOLOGIA..... | 34 |
| 5.1 | Número N | 34 |
| 5.2 | Método DNER | 34 |
| 5.3 | Método medina..... | 35 |
| 6 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 38 |
| 6.1 | Pavimento 1 dimensionado pelo método DNER | 38 |
| 6.2 | Pavimento 2 dimensionado pelo método DNER | 39 |
| 6.3 | Pavimento 3 dimensionado pelo método DNER | 40 |
| 6.4 | Pavimento 1 dimensionado pelo método MeDiNa..... | 41 |
| 6.5 | Pavimento 2 dimensionado pelo método MeDiNa..... | 42 |

| | | |
|-----|---|----|
| 6.6 | Pavimento 3 dimensionado pelo método MeDiNa..... | 44 |
| 6.7 | Comparativo entre as estruturas dimensionadas | 45 |
| 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 48 |
| | REFERÊNCIAS | 49 |

1 INTRODUÇÃO

A matriz de transporte, no Brasil, tem uma significativa colaboração do modal rodoviário, o qual centraliza a locomoção de 65% de mercadorias e de 95% da população, segundo a pesquisa feita em 2021 pela Confederação Nacional do Transporte (CNT). Dada a relevância deste modal, é necessário que se tenha um desempenho satisfatório mediante a solicitação de tráfego nas rodovias.

O método de dimensionamento adotado no Brasil em 1966 e atualizado em 1981 é o método do Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER), o qual trabalha com uma metodologia empírica, tendo como parâmetro o "*California Bearing Ratio*" (CBR) e as solicitações de tráfego pela via. Tal método possui algumas restrições, uma delas é que este dimensionamento leva em consideração apenas as respostas dos ensaios de tensão uniaxial, dessa forma todas as tensões reais envolvidas na estrutura não são levadas em consideração.

Em 2020, com o objetivo de minimizar as limitações do método do DNER, o Departamento Nacional de Infraestruturas e Transportes (DNIT) implementou o atual Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa), que foi conceituado em 2014 junto ao *software* que leva o mesmo nome, e consiste em uma metodologia que considera o modelo empírico-mecanicista. O referido método associa condições ambientais, solicitações de tráfego e dados relacionados aos materiais utilizados em uma determinada região. Dentro deste contexto, no presente trabalho, serão comparadas as estruturas dimensionadas por esses dois métodos.

2 OBJETIVOS

O presente capítulo apresenta os objetivos deste trabalho.

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo comparar estruturas de pavimentos flexíveis dimensionadas pelo Método de Dimensionamento do Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER) e pelo Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) por meio de dados laboratoriais obtidos mediante levantamento bibliográfico.

2.2 Objetivos específicos

- Dimensionar estruturas de pavimentos flexíveis a partir dos métodos DNER e MeDiNa considerando três níveis de tráfego;
- Comparar as estruturas dimensionadas pelos dois métodos para os diferentes tráfegos propostos.

3 JUSTIFICATIVA

A pesquisa CNT de rodovias de 2021, a fim de avaliar as condições da malha rodoviária brasileira, abrangeu 109.103 quilômetros de rodovias pavimentadas, incluindo totalmente as rodovias federais e outros trechos de expressiva importância socioeconômica, partindo do exposto que apenas 213,5 mil quilômetros das rodovias brasileiras são pavimentados, a pesquisa compreendeu 51,1% da malha pavimentada do Brasil. Como resultado desse estudo chegou à conclusão que 52,2% apresentaram algum tipo de defeito no pavimento, tendo como classificação 33,2% ótimo; 14,5% bom; 30,6% regular; 15,8% ruim; 5,7% péssimo. Essa avaliação negativa é consequência de diversos fatores, sendo o déficit no planejamento, execução e manutenção as maiores causas dela.

O método de dimensionamento do Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER), adotado em 1966 e atualizado em 1981, trabalha com uma metodologia empírica, tendo como parâmetro de ruptura o cisalhamento das camadas granulares e solos e a deformação demasiada em trilhas de rodas. O fundamento de dimensionamento do DNER se baseia no “*California Bearing Ratio*” (CBR) que determina o índice de suporte do solo que constitui o subleito, no tráfego, determinado pelo Número de Equivalência de Eixos (N), o qual corresponde ao número de repetições de carga de um eixo padrão do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (*United States Army Corps of Engineers - USACE*) ao qual o pavimento estará sujeito ao longo de seu período de projeto. O preceito desse método está em dimensionar por meio desses parâmetros espessuras construtivas de camadas para proteção do subleito. Devido ao método ser empírico, a metodologia não considera as particularidades do comportamento do solo tropical brasileiro, além de não contemplar os efeitos da fadiga na estrutura do pavimento flexível (FRANCO, 2007).

O atual Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) consiste em uma metodologia que considera o modelo empírico-mecanicista, que associa dados relacionados aos materiais utilizados na pavimentação, condições ambientais da localidade e o tráfego aplicado. Mediante correlações e rotina de análise elástica de múltiplas camadas (AEMC), determinam-se os materiais mais viáveis e suas respectivas espessuras de camadas para calcular as tensões e deformações, associando os valores críticos destas com os danos que a repetição de cargas pode

causar ao pavimento. Por fim, o *software* MeDiNa verifica as espessuras e analisa se os dados encontrados satisfazem as condições impostas no dimensionamento.

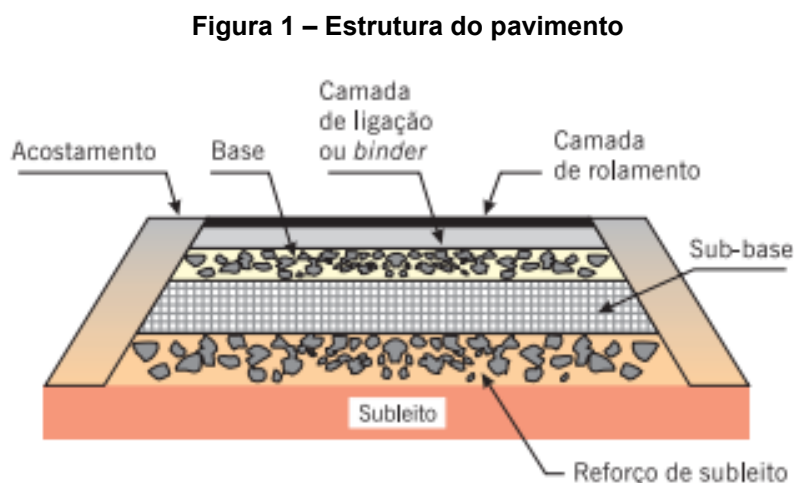
A fim de contemplar esse novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos do DNIT, este trabalho irá realizar um estudo comparativo entre as estruturas obtidas pelo método MeDiNa e DNER a fim de contribuir para o estudo de rodovias mais eficientes.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão abordados os conceitos fundamentais para a compreensão do presente trabalho.

4.1 Pavimento Flexível

Pavimento flexível é 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 (Manual do DNIT, 2006). A Figura 1, exibe a estrutura do pavimento.



Fonte - Bernucci et al. (2006, p. 10)

No Brasil, das rodovias pavimentadas, 99% são de pavimentos flexíveis segundo a CNT (2021). Os revestimentos de pavimentos flexíveis são compostos principalmente de ligantes asfálticos junto a agregados, em que os agregados perfazem em torno de 95% do volume da mistura asfáltica, podendo ter ou não aditivos na composição. Dessa fusão é formada a estrutura do concreto asfáltico, sendo de suma relevância o estudo das características da mistura formada.

4.2 Número N

O tráfego é o elemento indispensável a ser considerado em um dimensionamento de pavimentos, sendo ele empírico ou mecanístico, por meio do qual estima-se o tráfego real no decorrer da vida útil, em que geralmente um

pavimento é projetado para 10 anos. Para se determinar o tráfego real que a rodovia sofrerá, relaciona-se diversos fatores como diferentes cargas, diferentes configurações de eixo e de rodas, velocidades diversas, entre outros.

Na pavimentação rodoviária, comumente utiliza-se o número N, definido pelo DNER (DNER, 1981, p.10) como “o número equivalente de operações do eixo simples padrão durante o período de projeto escolhido”. Para o cálculo desse parâmetro é necessário o volume médio (Vm), volume total de tráfego (Vt), o período projetado (P), a taxa de crescimento anual em porcentagem (t) e o fator de veículo (FV) da respectiva frota. Sendo o último determinado baseado em outros dois parâmetros: Fator de Eixo (FE) e Fator de Carga (FC). Para determinar esses indicadores, tem-se as equações 1 a 5:

$$Vm = \frac{V_1 \left[2 + \frac{(P-1)t}{100} \right]}{2} \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo V_1 o volume médio diário de tráfego no ano de abertura, num sentido.

$$Vt = 365 \times P \times Vm \quad (\text{Eq. 2})$$

Empregando a taxa de crescimento anual, tem-se a Equação 03:

$$Vt = 365 \times V_1 \times \frac{\left[\left(\frac{1+t}{100} \right)^p - 1 \right]}{\frac{t}{100}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Descoberto esses valores, calcula-se N:

$$N = Vt \times FE \times FC \quad (\text{Eq. 4})$$

$$N = Vt \times FV \quad (\text{Eq. 5})$$

Conforme o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), a espessura mínima do revestimento betuminoso dependerá do valor de N encontrado. Na Tabela 1 consta as espessuras determinadas no manual, tendo como finalidade proteger a camada de base dos esforços aplicados pelo tráfego e evitar a ruptura do pavimento.

Tabela 1 - Espessura mínima de revestimento betuminoso

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

Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006, p.147)

4.3 CBR

O *California Bearing Ratio* (CBR) foi o ensaio mais utilizado para estudar o comportamento do solo na pavimentação. O método foi idealizado por O. J. Porter, na época diretor da Divisão de Materiais do *Califórnia Highway Department*, no fim da década de 1930, com o propósito de definir a resistência dos materiais granulares utilizados nos serviços de pavimentação, segundo Senço (2007). Os resultados obtidos eram divididos em duas curvas, relativas ao tráfego leve e pesado, as quais forneciam as espessuras necessárias de cada pavimento. O método CBR, inicialmente ligado a Porter se desvinculou dessa associação quando o Corpo de Engenheiros dos EUA relacionou os resultados *CBR* a uma outra categoria de curvas para dimensionamento de aeroportos e rodovias.

“O CBR, por tradução índice Suporte Califórnia (ISC), pode ser definido como a relação percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar, de maneira padronizada, um pistão numa amostra de solo convenientemente preparada e a pressão para fazer penetrar o mesmo pistão, à mesma profundidade, numa amostra padrão de pedra britada, ou material equivalente, exigindo a pressão de 1.000 psi para a penetração de 0,1” ou 1.500 psi para a penetração de 0,2”. (Senço, 2007, p. 219).

No Brasil, para realizar o ensaio de CBR é seguida a norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT 172 (2016) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 9895 (2016), que divergem apenas na quantidade de leituras que são feitas, conservando o resultado entre si. Essas normas padronizam a aparelhagem a ser utilizada, como deve ser a amostra, o ensaio e os cálculos.

4.4 Misturas Asfálticas

A mistura asfáltica é constituída por agregados de diversos tamanhos e proporções junto ao cimento asfáltico de petróleo (CAP) de maneira que cumpra os requisitos de desempenho previstos. A escolha da quantidade de cada agregado é feita por dosagem em ensaios definidos pela norma 412 (DNIT, 2019).

A determinação dos agregados é um fator de suma importância, segundo Cunha (2004), uma vez que ela está diretamente ligada a inúmeras propriedades de uma mistura asfáltica, como trabalhabilidade, resistência à fadiga, resistência à deformação permanente, estabilidade, durabilidade, permeabilidade e resistência aos danos causados pela umidade. A definição da faixa a ser utilizada é orientada pela solicitação de tráfego.

O CAP é classificado pela sua penetração, devido ao clima brasileiro, de acordo com a norma 095 (DNIT, 2006), no Brasil podem ser empregados os cimentos asfálticos de concreto convencionais CAP-30/45, CAP-50/70, CAP-85/100 e CAP 150/200, o número da classificação se deve a penetração do cimento asfáltico, que devem seguir a resolução 19/2005 da Agência Nacional do Petróleo (ANP). Na Figura 2 tem-se a classificação e especificações por penetração vigente.

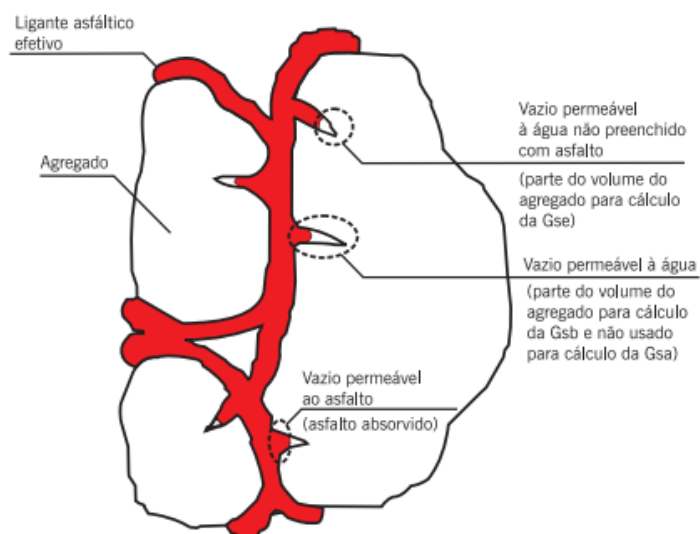
Figura 2 - Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) - Classificação por penetração

| CARACTERÍSTICAS | UNIDADES | LIMITES | | | | |
|--|----------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| | | CAP 30 / 45 | CAP 50 / 70 | CAP 85 / 100 | CAP 150 / 200 | |
| Penetração (100 g, 5s, 25°C) | 0,1mm | 30 - 45 | 50 - 70 | 85 - 100 | 150 - 200 | |
| Viscosidade Saybolt Furol | °C s | 52 | 46 | 43 | 37 | |
| | | a 135 °C, mín | 192 | 141 | 110 | 80 |
| | | a 150 °C, mín | 90 | 50 | 43 | 36 |
| | | a 177 °C | 40 - 150 | 30 - 150 | 15 - 60 | 15 - 60 |
| OU | | | | | | |
| Viscosidade Brookfield | cP | | | | | |
| | | a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín | 374 | 274 | 214 | 155 |
| | | a 150 °C, SP 21, mín. | 203 | 112 | 97 | 81 |
| | | a 177 °C, SP 21 | 76 - 285 | 57 - 285 | 28 - 114 | 28 - 114 |
| Índice de susceptibilidade térmica (1) | | (1,5) a (+0,7) | (1,5) a (+0,7) | (1,5) a (+0,7) | (1,5) a (+0,7) | |
| Ponto de fulgor mín | °C | 235 | 235 | 235 | 235 | |
| Solubilidade em tricloroetileno, mín | % massa | 99,5 | 99,5 | 99,5 | 99,5 | |
| Ductilidade a 25° C, mín | cm | 60 | 60 | 100 | 100 | |
| Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 °C, 85 min | | | | | | |
| Varição em massa, máx (2) | % massa | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |
| Ductilidade a 25° C, mín | cm | 10 | 20 | 50 | 50 | |
| Aumento do ponto de amolecimento, máx | °C | 8 | 8 | 8 | 8 | |
| Penetração retida, mín (3) | % | 60 | 55 | 55 | 50 | |

Fonte: Adaptado da NORMA DNIT 095/2006 – EM (2006, p.4)

A Figura 3 apresenta uma ilustração para compreensão do uso dos parâmetros físicos dos componentes em uma mistura asfáltica, para a determinação das massas específicas, dos vazios de ar e do teor de asfalto absorvido em uma mistura asfáltica compactada.

Figura 3 - Esquema de componentes em uma mistura asfáltica compactada



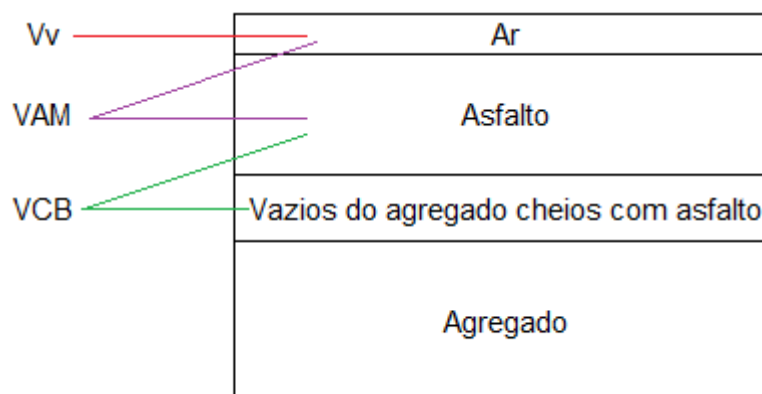
Fonte: Bernucci et al. (2006, p. 207)

A Densidade Aparente da Mistura Asfáltica Compactada ou Massa Específica (G_{mb}) é definida como a relação entre a massa seca do corpo de prova compactado e a diferença entre essa massa seca (M_s) e a massa seca do corpo de prova posteriormente submersa em água ($M_{s_{sub}}$), multiplicada pela massa específica da água a 25°C, como é exemplificado na Equação 6.

$$G_{mb} = \frac{M_s}{M_s - M_{s_{sub}}} \times 0,9971 \quad (\text{Eq. 6})$$

Dois outros fatores significativos na mistura asfáltica são os vazios de ar na mistura asfáltica compactada, volume de vazios (V_v) e o volume de vazios nos agregados minerais (VAM), que simboliza tudo que não é agregado na mistura. A figura 4 demonstra esses volumes e também os vazios cheios com betume (VCB), que diz respeito tanto ao asfalto disponível para a mistura quanto o absorvido (Bernucci *et al.*, 2006).

Figura 4 - Volumetria em uma mistura asfáltica



Fonte: Adaptado de Bernucci et al. (2006, p. 217)

A escolha do teor de asfalto, segundo Napa (1982), principalmente para camadas de rolamento em concreto asfáltico é fundamentada no volume de vazios (V_v) correspondente a 4%, ou o V_v correspondente à média das especificações. É comum também a escolha se dar a partir da estabilidade Marshall, da massa específica aparente e do V_v . Nesse caso, o teor de projeto é uma média de três teores, correspondentes aos teores associados à máxima estabilidade, à massa específica aparente máxima da amostra compactada (G_{mb}) e a um V_v de 4% (ou média das especificações).

4.5 Ensaios mecânicos

Os ensaios mecânicos permitem avaliar os materiais que irão compor a estrutura do pavimento. Ensaio de fadiga, módulo de resiliência (MR) e resistência à tração (RT) auxiliam tanto no projeto e na dosagem de misturas asfálticas, como na previsão do desempenho de revestimentos asfálticos. Para Pinto (1980) o ensaio de MR pode e deve ser usado como um fator determinante na dosagem de concreto asfáltico, do mesmo modo a RT é um dos critérios na dosagem de misturas asfálticas de acordo com a norma 031 (DNIT, 2006).

Bernucci *et al.* (2006) citam que na abordagem mecanicista, os resultados da análise estrutural dos pavimentos tensões, deformações e deslocamentos são comparados com critérios de dimensionamento predefinidos de modo a evitar defeitos como trincamento por fadiga e deformação permanente, visto que são considerados os mais preocupantes.

A fadiga pode ser definida como “o processo da mudança estrutural permanente, progressiva e localizada que ocorre em um ponto do material sujeito a

tensões de amplitudes variáveis produzem as fissuras que conduzem para totalizar a falha após um determinado número de ciclos” (ASTM, 1979, apud BERNUCCI et al., 2006, p.311). Esse evento ocorre devido a diversos fatores, como a escolha do material, clima, tráfego e estrutura do pavimento (FRITZEN, 2016)

Para determinar a vida de fadiga, a norma 183 (DNIT, 2018), tem a finalidade de apontar o comportamento de misturas asfálticas quanto à fadiga sob um carregamento repetido, à tensão constante, usando o ensaio de compressão diametral de tração indireta. Nesta mesma intenção, Fritzen (2016) propôs uma metodologia, baseada em uma análise elástica-linear, que obtém a evolução dos danos no pavimento. O Método MeDiNa, analisado neste trabalho, se baseou e adaptou a tese de Fritzen (2016) para calcular as trincas por fadiga sofridas durante o período de projeto.

A deformação permanente em trilha de roda é uma falha provocada pelo mal desempenho do pavimento asfáltico, refere-se ao acúmulo de deformações não recuperáveis consequentes das cargas dos veículos (Moura, 2010). Guimarães (2009) julga a deformação permanente como a mais crítica das imperfeições ocorridas nos pavimentos.

Para Joliet e Malot (2010), a deformação permanente em trilha de roda é a junção da deformação viscosa do ligante asfáltico e deformação plástica da estrutura mineral da mistura asfáltica. Enquanto Medina (2006), considera o afundamento de trilha de roda ser decorrente da deformação plástica de todas as camadas do pavimento, com maior ênfase na camada de revestimento.

As deformações permanentes podem ser divididas em três mecanismos:

- Permanente da estrutura;
- Causada por fluência;
- Ocasionalada pelo uso.

A primeira é consequente de um subdimensionamento das camadas quando comparado ao tráfego sofrido, a deformação por fluência do ligante é devida a problemas de dosagem da mistura asfáltica, e, por fim, a deformação ocasionada pelo uso ocorre em países que nevam, visto que para melhorar a aderência dos pneus eles são recobertos por pinos ou correntes (Moura, 2010)

A resistência à tração (RT) é definida como a tensão de tração que resulta na ruptura diametral do corpo de prova que estava submetido a uma carga de

compressão paralela ao eixo de ruptura. O ensaio para encontrar a RT é estipulado pela norma 136 (DNIT, 2018).

O módulo de resiliência é definido pela norma 135 (DNIT, 2018, p.2) como a “relação entre a tensão horizontal resultante da carga cíclica e a correspondente deformação horizontal resultante do deslocamento horizontal recuperável (resiliente), por ciclo”. Embora o ensaio ignore os impactos da perda de energia, ele obtém resultados aceitáveis no cálculo de tensão (σ) e deformação (ε) de um pavimento.

O Módulo de Resiliência de misturas asfálticas pode ser calculado pela Equação 7.

$$MR = \frac{P}{\Delta + H} \times (0,9976 \times \mu + 0,2692) \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que:

= altura do corpo-de-prova (mm);

μ = deslocamento horizontal e vertical variável com o comprimento de medida dos sensores

A norma 135 (DNIT, 2018) prevê que os ensaios de modulo de resiliência devem ser feitos em temperatura definida de $25^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. No ensaio do MR, também pode ser determinado o coeficiente de Poisson (μ), o qual mede os deslocamentos horizontal e vertical e varia de acordo com o comprimento de medida dos sensores de deslocamento.

4.6 Métodos de Dimensionamento

Os métodos de dimensionamento comumente empregados no Brasil, até a década de 70, tinham como foco a capacidade de suporte dos pavimentos em termos de ruptura plástica sob carregamento estático, indicada por meio do valor do CBR. Entretanto foi observado que a malha rodoviária apresentou uma deterioração prematura, devido à fadiga dos materiais, gerada pela contínua solicitação dinâmica do tráfego atuante, por esse motivo despertou o interesse no estudo mais adequado dos materiais empregados em pavimentos e um método de dimensionamento mais conveniente a realidade do país (FRANCO, 2007).

4.6.1 Método DNER

De acordo com Senço (2007), Método do Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER) foi proposto pelo Eng. Murillo Lopes de Souza, com embasamento no ensaio CBR de O. J. Porter. Os dados associados aos coeficientes de equivalência estrutural têm como base o The A.A.S.H.T.O Road Test, o método leva em consideração o subleito, materiais das camadas, tráfego e fator climático regional.

Conforme o método de projeto de pavimentos flexíveis (DNER, 1981), inicialmente é determinado a capacidade de suporte do subleito e dos materiais granulares que constituem o pavimento pelo ensaio CBR em laboratório, a fim de um fator de segurança maior, é estimado o Índice de Suporte (I.S.), o qual é feito pela média do CBR e o CBR relativo ao Índice de Grupo (CBR^{IG}). O valor de CBR é determinado por seu ensaio e o CBR^{IG} é dado pela Tabela 2

$$I.S. = \frac{CBR + CBR^{IG}}{2} \quad (\text{Eq. 8})$$

Tabela 2 – CBR^{IG}

| Índice de Grupo (I.G) | CBR ^{IG} |
|-----------------------|-------------------|
| 0 | 20 |
| 1 | 18 |
| 2 | 15 |
| 3 | 13 |
| 4 | 12 |
| 5 | 10 |
| 6 | 9 |
| 7 | 8 |
| 8 | 7 |
| 9 a 10 | 6 |
| 11 a 12 | 5 |
| 13 a 14 | 4 |
| 15 a 17 | 3 |
| 18 a 20 | 2 |

Fonte: Adaptado de Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis, DNER 667/22 (1981, p.7)

Posteriormente são classificados os materiais granulares utilizados no pavimento conforme o I.S. ou CBR encontrado, de acordo com o método de projeto de pavimentos flexíveis (DNER, 1981), exposto na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação dos materiais granulares empregados no pavimento

| Camada | Classificação do Material |
|----------|--|
| Subleito | CBR maior ou igual a 2; expansão menor que 2%; |
| Subleito | CBR maior que o subleito; expansão menor que 2%; |
| Sub-base | CBR maior que 20; I.G. igual a zero; expansão menor que 1%; |
| Base | CBR maior que 80; expansão menor que 0,5%. limite de liquidez menor ou igual a 25; índice de plasticidade menor ou igual a 6. |

Fonte: Adaptado de Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis, DNER 667/22 (1981, p.8)

O tráfego no método DNER é dimensionado pelo Número N. O próximo passo do DNER é considerar o fator climático regional (FR), o qual considera as variações de umidade e temperatura no decorrer das estações, que influenciam na capacidade de suporte dos materiais. O fator climático regional é representado pela média ponderada dos coeficientes sazonais. No Brasil, é adotado por segurança um F.R.=1.

O coeficiente de equivalência estrutural é determinado para cada diferente material que constitui o pavimento, alguns dos coeficientes mais comuns são exibidos na Tabela 4.

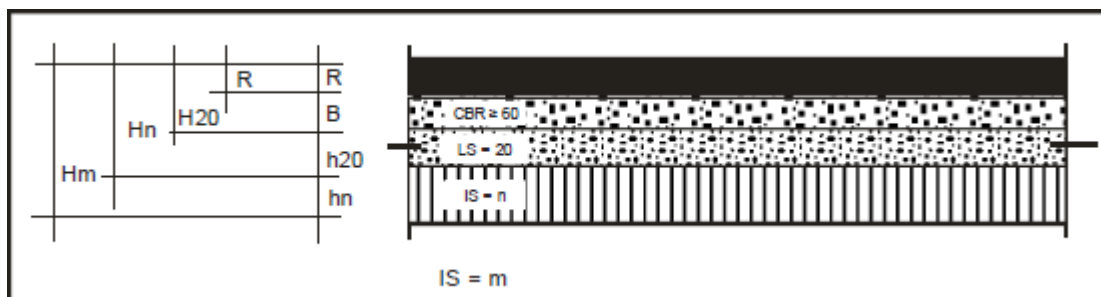
Tabela 4 – Coeficiente de equivalência estrutural

| Componente do Pavimento | Coeficiente K |
|---|----------------------|
| Base ou revestimento de concreto betuminoso | 2,0 |
| Base ou revestimento pré misturado a quente de graduação densa | 1,7 |
| Base ou revestimento pré misturado a frio de graduação densa | 1,4 |
| Base ou revestimento betuminoso por penetração | 1,2 |
| Camadas granulares | 1,0 |
| Solo cimento com resistência a compressão a 7 dias superior a 45 kg/cm ² | 1,7 |
| Idem, com resistência a compressão a 7 dias entre 45 kg/cm ² a 28 kg/cm ² | 1,4 |
| Idem, com resistência a compressão a 7 dias entre 28 kg/cm ² a 21 kg/cm ² | 1,2 |
| Bases de Solo – Cal | 1,2 |

Fonte: - Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis, DNER 667/22 (1981, p.15)

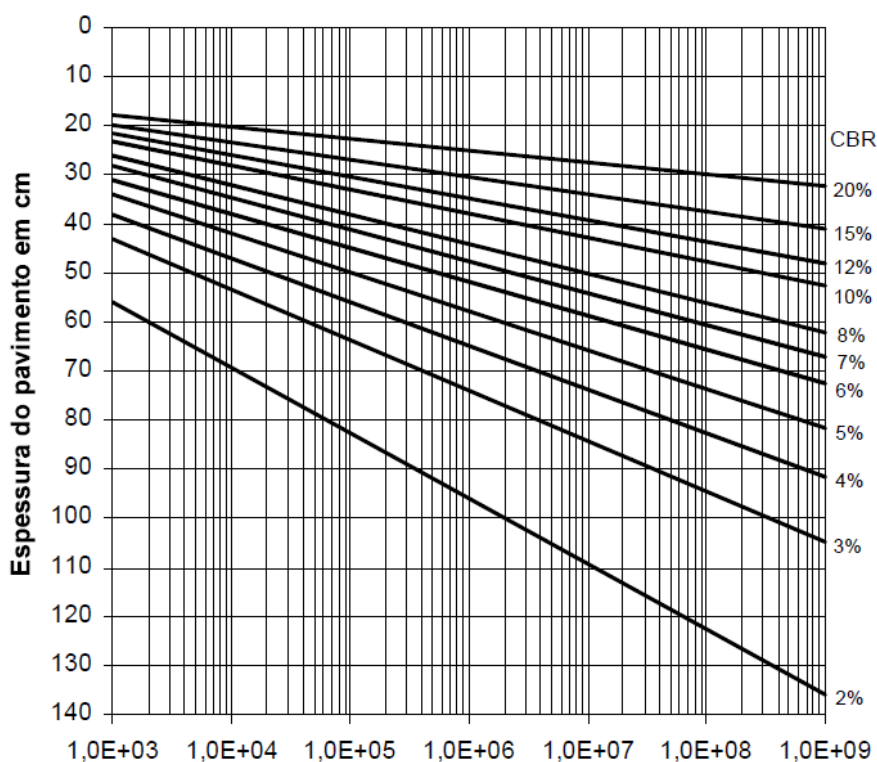
Definido esses valores, a espessura total do pavimento (H_m), a espessura de pavimento necessária para proteger o reforço do subleito (H_n) e espessura de pavimento necessária para proteger a sub-base (H_{20}), representada pela Figura 5, é determinada utilizando-se o ábaco da Figura 6.

Figura 5 – Dimensionamento do Pavimento



Fonte: Manual de Pavimentação, DNIT - IPR 719 (2006, p.149)

Figura 6 – Ábaco de dimensionamento de pavimentos flexíveis.



Fonte Manual de Pavimentação, DNIT - IPR 719 (2006, p.149)

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times \text{CBR}^{-0,598} \quad (\text{Eq. 9})$$

Após ser determinada a espessura total do pavimento, é possível determinar as espessuras da base (B), sub-base (h20) e do reforço do subleito (hn), pelas equações 10 a 12.

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20} \quad (\text{Eq. 10})$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n \quad (\text{Eq. 11})$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S + h_n \times K_{ref} \geq H_m \quad (\text{Eq. 12})$$

Sendo:

K_R : coeficiente de equivalência estrutural do revestimento;

R : espessura do revestimento;

K_B : coeficiente de equivalência estrutural da base;

B : espessura da base;

H_{20} : espessura de pavimento necessária para proteger a sub-base;

K_S : coeficiente de equivalência estrutural da sub-base;

h_{20} : espessura da sub-base;

H_n : espessura de pavimento necessária para proteger o reforço do subleito;

K_{ref} : coeficiente de equivalência estrutural do reforço de subleito;

h_n : espessura do reforço do subleito;

H_m : espessura total de pavimento necessária para proteger um material com determinado CBR.

4.6.2 Método MeDiNa

O novo método de dimensionamento nacional de pavimentação asfáltica denominado de MeDiNa, em homenagem ao engenheiro Jacques de Medina, que estabeleceu a mecânica dos pavimentos no Brasil é uma atualização do mecanismo empírico utilizado no Brasil, desde a década de 1960, e inclui tecnologias já utilizada em outros países (FRANCO, 2007). O MeDiNa apresenta o método de dimensionamento empírico-mecanicista consiste em:

- reunir os dados referentes aos materiais de pavimentação, ao tráfego e às condições ambientais;
- correlacionar os dados de resistência dos materiais e tráfego em função das épocas sazonais e o comportamento dos materiais em função do tipo de carregamento;
- escolher as espessuras das camadas e calcular as tensões e deformações considerando as diversas correlações obtidas;
- relacionar os valores críticos de tensões e deformações com os danos que a repetição das cargas pode causar ao pavimento por meio de modelos de previsão;

- verificar se as espessuras escolhidas satisfazem as condições impostas no dimensionamento.

Os danos considerados no novo método para o dimensionamento são a deformação permanente limite no topo do subleito; a deflexão máxima na superfície do pavimento e o dano de trincas por fadiga da camada asfáltica ou cimentada.

4.6.2.1 Software MeDiNa

O MeDiNa é um programa de computador que efetua a verificação e o dimensionamento de estruturas de pavimentos pelo método mecanístico-empírico, por meio da AEMC (análise elásticas de múltiplas camadas) (DNIT, 2020).

O *software* opera de duas maneiras, realizando o projeto de reforço de um pavimento e o dimensionamento de um novo pavimento, modo este que será tratado no presente trabalho. Em suma, para se fazer um dimensionamento de um novo pavimento no programa é necessário fornecer a estrutura que o pavimento terá, as características dos materiais constituintes de cada camada e sua espessura, além de definir o tráfego informando o número N. O programa fornece uma base de dados com propriedades das camadas (PITANGUI, 2019).

Uma vez definido o tráfego e os materiais que irão compor as camadas, o software permite que o usuário realize dois tipos de análise, na função “dimensionar”, o usuário define os materiais que irão compor as camadas do pavimento e a espessura das camadas inferiores ao revestimento, em seguida o programa realizará diversas análises, alterando a espessura da camada de revestimento, com o objetivo de atender aos critérios de área trincada e deformação permanente. A segunda verificação, usando a função “analisar” o projetista poderá observar como a estrutura que ele lançou no programa se comportará com o tráfego, nesse caso, o MeDiNa irá verificar as espessuras das camadas sem alterá-las, podendo o usuário alterar o tipo de material da camada e perceber qual deste se adequa melhor a estrutura proposta.

A solicitação de tráfego é dada pelo número N ajustado pelo fator de deslocamento, observado na Equação 13

$$N' = (N \times F_s) \times 10^{-10} \quad (\text{Eq. 13})$$

Em que:

N': número N ajustado;

N: número de repetições do eixo padrão quando foi realizada a medição de área trincada;

F_s: fator de deslocamento atribuído.

No final dos cálculos obtém-se a espessura do pavimento, o acúmulo de deformação permanente, área de trinca estimada no final do período projetado e o afundamento de trilha de roda (ATR), após os resultados é observado se os danos nas estruturas estão dentro dos limites aceitáveis de tolerância (FRANCO, 2007).

Os critérios de dimensionamento do programa, assim como seu grau de confiabilidade, são definidos pelo tipo de via e expostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Critérios do MeDiNa

| Tipo de via | Confiabilidade | Área trincada | Deformação permanente |
|---------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------|
| Sist. Arterial Principal | 95% | 30% | 10mm |
| Sist. Arterial Primário | 85% | 30% | 13mm |
| Sist. Arterial Secundário | 75% | 30% | 20mm |
| Sist. Coletor Primário | 85% | 30% | 13mm |
| Sist. Coletor Secundário | 75% | 30% | 20mm |
| Sist. Local | 65% | 30% | 20mm |

Fonte: Manual MeDiNa, versão 1.1.5 (2020, p. 32)

Figura 7 – Interface do Software MeDiNa

Alterar Estrutura >>

| CAMADA | DESCRIÇÃO DO MATERIAL | TIPO | ESPESSURA (cm) | MÓDULO (MPa) | COEFICIENTE DE POISSON |
|---------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|--------------|------------------------|
| >> 1 << | CONCRETO ASFÁLTICO | RJ CAP 30/45 #12,5mm Sepetiba | 8,2 | 9000 | 0,30 |
| 2 | MATERIAL GRANULAR | Brita Graduada - Gnaisse C5 | 20,0 | 381 | 0,35 |
| 3 | SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO | Solo Argiloso LG'(1) | 20,0 | 250 | 0,45 |
| SL | SUBLEITO | Solo Siltoso NS' | 0,0 | 189 | 0,45 |

| EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO | |
|---------------------------------|---------------------------|
| DADOS DO TRÁFEGO | |
| Tipo de Via: | Sistema Arterial Primário |
| VMD (1º ano): | 1370 |
| FV: | 1,000 |
| N anual (1º ano): | 5,00e+05 |
| % Veículos na faixa de projeto: | 100 |
| N Anual da faixa: | 5,00e+05 |
| Taxa de crescimento (%): | 0,0 |
| Período de projeto (anos): | 10 |
| N Total: | 5,00e+06 |

| --- DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO NOVO --- | |
|--|--|
| Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa. | |
| Nível de confiabilidade da análise: 85% | |
| Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 29,1% | |
| Afundamento de Trilha de Roda: 4,8mm | |
| Os resultados obtidos pelo programa devem ser avaliados criteriosamente antes de serem aprovados para a execução de campo. | |

Fonte: Autoria própria (2022)

5 METODOLOGIA

Neste estudo foi realizado o dimensionamento de três estruturas de pavimentos flexíveis pelo método do DNER e pelo método MeDiNa, mediante a solicitação de três diferentes tráfegos.

5.1 Número N

O número N proporciona a utilização adequada dos métodos de dimensionamento. Em função dos valores de N, foram definidos os tráfegos de forma que as espessuras das camadas de revestimento de cada pavimento dimensionado variassem (Tabela 1). A Tabela 6 mostra os valores de N empregados para o dimensionamento dos três pavimentos.

Tabela 6 – Número N empregado

| Pavimento | Número N |
|------------------|-------------------|
| 1 | $2,5 \times 10^6$ |
| 2 | $7,5 \times 10^6$ |
| 3 | $2,5 \times 10^7$ |

Fonte: Autoria própria (2022)

5.2 Método DNER

A fim de dimensionar os pavimentos pelo método do DNER, foi necessário estimar a capacidade de suporte (CBR) das camadas de base, classificar os materiais granulares que serão empregados, o tráfego, citado anteriormente, e o coeficiente de equivalência estrutural.

Para o dimensionamento considerou-se o solo do campus da UTFPR - Campo Mourão, classificado como argiloso, do subgrupo A-7-6 pelo sistema de classificação AASHTO com índices de grupo variantes de 28 a 31, conforme Batelo (2019). Foram empregados os valores de CBR e expansão iguais a 6,9% e 0,2% respectivamente (HASHIMOTO, 2018). Os valores de CBR do reforço do subleito, da sub-base e da base seguiram os valores mínimos recomendados pelo método de projeto de pavimentos flexíveis (Tabela 2) para que os materiais atendam aos requisitos e possam ser utilizados nessas camadas. A Tabela 7 apresenta os valores empregados.

Tabela 7 – Valores de CBR para dimensionamento

| Camada | CBR (%) |
|---------------------|---------|
| Subleito | 6,9 |
| Reforço do Subleito | 10,0 |
| Sub-base | 20,0 |
| Base | 80,0 |

Fonte: Autoria própria (2022)

Sendo a camada de revestimento de concreto betuminoso usinado a quente e a base granular, os valores de coeficiente estrutural seguiram a Tabela 4, e os coeficientes da camada de reforço do subleito e da camada de sub-base foram determinados a partir da Equação 14 (DNER, 1981) e a Tabela 8 mostra os valores utilizados.

$$K_{REF \text{ OU } SUB} = \left(\frac{CBR_1}{3 \times CBR_2} \right)^{1/3} \quad (\text{Eq. 14})$$

Sendo:

- CBR₁ suporte da sub-base ou reforço do sub-leito;
- CBR₂ suporte do material subjacente.

Tabela 8 – Coeficiente Estrutural

| Camada | Coeficiente Estrutural (K) |
|---------------------|----------------------------|
| Subleito | 0,8 |
| Reforço do Subleito | 0,9 |
| Sub-base | 1,0 |
| Base | 2,0 |

Fonte: Autoria própria (2022)

5.3 Método MeDiNa

Para a realização do dimensionamento pelo método MeDiNa, foi adotado para o reforço do subleito e subleito o solo argiloso LG', compactado em energias diferentes, retirado da base de dados do *software*, visto que é um solo classificado como A-7-6 (GUIMARÃES, 2009), assim como o de Campo Mourão, sendo o material

que mais se assemelha ao solo considerado no dimensionamento feito pelo método DNER. Para a camada de base, observado que o solo da região determinada para dimensionamento é residual do basalto (BATELO, 2019), foi utilizado os dados da tese de Sagrilo (2020). Por fim, para o revestimento foi adotado o CAP 30/45, encontrado na base do MeDiNa, uma vez que é um material que pode ser utilizado para tráfegos leves a pesados. As propriedades dos materiais que constituem as camadas do pavimento são apresentadas pelas Figuras 8 a 11.

Figura 8 – Propriedades da Camada de Revestimento

1 - CONCRETO ASFÁLTICO: RJ CAP 30/45 #12,5mm Sepetiba

| Propriedades | Modelos |
|---|---|
| Tipo de CAP = CAP 30/45 - PG 70-16 | Ensaio de Fadiga |
| Massa específica (g/cm ³) = 2,4 | -Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$ |
| Resistência à tração (MPa) = 2,08 | -Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 5,0e-14$ |
| Teor de asfalto (%) = 6,0 | -Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,992$ |
| Volume de vazios (%) = 5,0 | -Classe de Fadiga: ≥ 2 |
| Faixa Granulométrica = #12,5mm | -FFM (100μ a 250μ): $\geq 0,75$ |
| Abrasão Los Angeles (%) = 40,0 | Flow Number Mínimo |
| Norma ou Especificação = DNIT ES 31 | - Condição de Tráfego Normal: ≥ 155 ciclos |
| | - Condição de Tráfego Severa: ≥ 432 ciclos |

Fonte: Software MeDiNa (2022)

Figura 9 - Propriedades da Camada de Base

2 - MATERIAL GRANULAR: BASÁLTICO

| Propriedades | Modelos |
|---|---|
| Descrição do Material = BASALTO - SJ AJUSTE | Ensaio de Deformação Permanente |
| Massa específica (g/cm ³) = 2,6 | Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$ |
| Umidade Ótima (%) = 5,25 | Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,048 |
| Energia Compactação = intermediaria | Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,622 |
| Abrasão Los Angeles (%) = 12,56 | Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,188 |
| Faixa Granulométrica = C | Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,138 |
| Norma ou Especificação = DNIT ES 141 | |

Fonte: Software MeDiNa (2022)

Figura 10 - Propriedades da Camada de Reforço do Subleito

3 - SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO: Solo Argiloso LG'(1)

| Propriedades | Modelos |
|---|--|
| Descrição do Material = Argila de Ribeirão Preto - SP | Ensaio de Deformação Permanente |
| Grupo MCT = LG' | Modelo: $ep = psi1.(s3^{psi2}).(sd^{psi3}).(N^{psi4})$ |
| MCT - Coeficiente $c' = 1,81$ | Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,206 |
| MCT - Índice $e' = 1,08$ | Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,24 |
| Massa específica (g/cm^3) = 1,665 | Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,34 |
| Umidade Ótima (%) = 24,0 | Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,038 |
| Energia Compactação = Normal | |
| Norma ou Especificação = DNIT ES 139 | |

Fonte: Adaptado do Software MeDiNa (2022)**Figura 11 - Propriedades da Camada de Subleito**

4 - SUBLEITO: Solo Argiloso LG' (1)

| Propriedades | Modelos |
|---|--|
| Descrição do Material = Argila de Ribeirão Preto - SP | Ensaio de Deformação Permanente |
| Grupo MCT = LG' | Modelo: $ep = psi1.(s3^{psi2}).(sd^{psi3}).(N^{psi4})$ |
| MCT - Coeficiente $c' = 1,81$ | Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,206 |
| MCT - Índice $e' = 1,08$ | Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,24 |
| Massa específica (g/cm^3) = 1,665 | Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,34 |
| Umidade Ótima (%) = 24 | Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,038 |
| Energia Compactação = Normal | |
| Norma ou Especificação = DNIT ES 137 | |

Fonte: Adaptado do Software MeDiNa (2022)

Outra informação que deve ser inserida no programa é o tipo de via adotado, que foi o sistema arterial principal, o qual estipula os limites aceitáveis de tolerância, sendo para esta via mínimo de 95% de confiabilidade da análise, máximo 30% de área trincada estimada e 10mm de deformação permanente.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos a partir dos dimensionamentos realizados por meio das metodologias apresentadas no capítulo 5. A fim de analisar e comparar os resultados, a estrutura do pavimento obtido pelo método DNER, foi lançada no *software* MeDiNa.

6.1 Pavimento 1 dimensionado pelo Método DNER

Para o pavimento 1, foi utilizada uma camada de revestimento (R) com 5 centímetros de espessura, conforme recomenda o manual de pavimentação do DNIT (Tabela 1) para tráfego N igual a $2,5 \times 10^6$. A partir da Equação 9 foram calculadas a espessura total do pavimento (H_m), a espessura de pavimento necessária para proteger o reforço do subleito (H_n) e espessura de pavimento necessária para proteger a sub-base (H_{20}). Definidos esses valores, foram determinadas as espessuras da camada de base (B), sub-base (h_{20}) e de reforço do subleito (h_n) por meio das Equações 10, 11 e 12. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 9 – Espessuras das camadas do Pavimento 1

| Camada | Espessura (cm) calculada | Espessura (cm) considerada |
|---|-----------------------------|-------------------------------|
| Espessura total do pavimento | 49,73 | 49,73 |
| Espessura de pavimento necessária para proteger o reforço do subleito | 39,87 | 39,87 |
| Espessura de pavimento necessária para proteger a sub-base | 26,34 | 26,34 |
| Base | 11,34 | 20,00 |
| Sub-base | 15,49 | 0,00 |
| Reforço do Subleito | 12,57 | 30,00 |

Fonte: Autoria própria (2022)

Analisando a Tabela 9, verifica-se que a camada de base deve possuir espessura maior ou igual a 11,34 cm. Com relação às camadas de sub-base e reforço do subleito, segundo as inequações, as mesmas devem possuir respectivamente espessuras maiores ou iguais a 15,49 e 12,57 cm.

Para viabilizar o processo construtivo, empregou-se 20,00 cm para a camada de base de forma que não houvesse necessidade de empregar a camada de sub-base, como foi comprovado ao refazer os cálculos, pois a mesma foi compensada por uma espessura maior da camada de reforço. Desta maneira, tornou-se o processo mais prático e viável economicamente, visto que o material utilizado na camada de reforço do subleito é mais barato que o usado para sub-base. A Figura 12 apresenta as espessuras de cada camada do pavimento 1.

Figura 12 – Estrutura do Pavimento 1 (DNER)

| CAMADAS DO PAVIMENTO 1 | ESPESSURA (cm) |
|------------------------|----------------|
| REVESTIMENTO | 5 |
| BASE | 20 |
| REFORÇO DO SUBLEITO | 30 |
| SUBLEITO | ∞ |

Fonte: Autoria própria (2022)

6.2 Pavimento 2 dimensionado pelo Método DNER

Para o pavimento 2, foi realizado o mesmo procedimento realizado para o cálculo do pavimento 1, alterando o número N para $7,5 \times 10^6$ e a espessura da camada de revestimento para 7,5 centímetros. A Tabela 10 exibe os resultados obtidos.

Tabela 10 – Espessuras das camadas do Pavimento 2

| Camada | Espessura (cm) | Espessura (cm) |
|----------|----------------|----------------|
| | calculada | considerada |
| H_m | 52,44 | 52,44 |
| H_n | 42,04 | 42,04 |
| H_{20} | 27,77 | 27,77 |
| B | 12,77 | 20,00 |
| h_{20} | 8,06 | 0,00 |
| h_n | 22,23 | 30,00 |

Fonte: Autoria própria (2022)

Como exibido na Tabela 10, foi obtido que camada de base deve possuir a espessura igual ou maior que 12,77 cm. Assim como no pavimento 1, para viabilizar

o processo e respeitando as inequações, foi considerada a camada de base de 20cm, de forma que refazendo os cálculos, a camada de sub-base não se fez necessária visto que houve uma camada maior de reforço do subleito. Desta maneira, as espessuras do pavimento dimensionado são demonstradas na Figura 13.

Figura 13 – Estrutura do Pavimento 2 (DNER)

| CAMADAS DO PAVIMENTO 2 | ESPESSURA (cm) |
|------------------------|----------------|
| REVESTIMENTO | 7,5 |
| BASE | 20 |
| REFORÇO DO SUBLEITO | 30 |
| SUBLEITO | ∞ |

Fonte: Autoria própria (2022)

6.3 Pavimento 3 dimensionado pelo Método DNER

Da mesma forma dos pavimentos anteriores, foi dimensionado o pavimento 3, alterando o número N para $2,5 \times 10^7$ e a espessura da camada de revestimento utilizada igual a 10cm, indicada pelo manual de pavimentação (Tabela 1). A Tabela 11 exibe os resultados obtidos.

Tabela 11 – Espessuras das camadas do Pavimento 3

| Camada | Espessura (cm) | |
|----------|----------------|-------------|
| | calculada | considerada |
| H_m | 55,57 | 55,57 |
| H_n | 44,55 | 44,55 |
| H_{20} | 29,43 | 29,43 |
| B | 9,43 | 20,00 |
| h_{20} | 5,21 | 0,00 |
| h_n | 19,85 | 30,00 |

Fonte: Autoria própria (2022)

Do mesmo modo dos outros pavimentos dimensionados, a fim de tornar mais viável o projeto, a camada de base que obteve espessura mínima de 9,43cm foi alterada para 20cm, de maneira que, quando recalculada, a sub-base foi anulada e compensada por uma camada maior de reforço do subleito. Assim sendo, a Figura 14 apresenta as dimensões do pavimento 3.

Figura 14 – Estrutura do Pavimento 3 (DNER)

| CAMADAS DO PAVIMENTO 3 | ESPESSURA (cm) |
|------------------------|----------------|
| REVESTIMENTO | 10 |
| BASE | 20 |
| REFORÇO DO SUBLEITO | 30 |
| SUBLEITO | ∞ |

Fonte: Autoria própria (2022)

6.4 Pavimento 1 dimensionado pelo Método MeDiNa

Como citado anteriormente, o software dimensiona e analisa a estrutura obtida a partir dos dados introduzidos. Inicialmente foi inserida a estrutura obtida pelo método anterior, a fim de estimar a espessura das camadas subjacentes ao revestimento. A análise desse pavimento pode ser observada na Figura 15.

Figura 15 – Análise do Pavimento 1 (DNER)

```

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 95%
Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 45,3%
Afundamento de Trilha de Roda: 7,3mm

--- ALERTAS ---
Tráfego elevado para a estrutura proposta.

```

Fonte: **Software MeDiNa (2022)**

A Figura 15 mostra os resultados da análise realizada pelo referido software onde verifica-se que, segundo a análise, há estimativa de que 45,3% do pavimento estará trincado no fim do período de projeto e com afundamento de trilha de roda igual a 7,3mm. Isso significa que a área trincada está fora dos parâmetros definidos pelo MeDiNa Dessa forma foram alteradas as espessuras das camadas de maneira que atendesse os critérios do método. As Figuras 16 e 17 exibem a estrutura dimensionada e a análise realizada pelo *software*.

Figura 16 – Estrutura do Pavimento 1 (MeDiNa)

| CAMADA | DESCRIÇÃO DO MATERIAL | TIPO | ESPESSURA (cm) |
|---------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|
| >> 1 << | CONCRETO ASFÁLTICO | RJ CAP 30/45 #19,1mm Sepetiba | 7,2 |
| 2 | MATERIAL GRANULAR | BASÁLTICO | 15,0 |
| 3 | SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO | Solo Argiloso LG'(1) | 15,0 |
| SL | SUBLEITO | Solo Argiloso LG' (1) | 0,0 |

Fonte: *Software MeDiNa (2022)*

Figura 17 – Análise do Pavimento 1 (MeDiNa)

```

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 95%
Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 28,4%
Afundamento de Trilha de Roda: 5,1mm

```

Fonte: *Software MeDiNa (2022)*

Após a análise realizada pelo programa, observada na Figura 17, verificou-se que a estrutura dimensionada para o pavimento 1, atende os critérios do MeDiNa, visto que estimou uma área trincada de 28,4% e o afundamento de trilha de roda de 5,1mm, menores que os valores limites estabelecidos pelo método (Tabela 4), no fim do período de projeto.

6.5 Pavimento 2 dimensionado pelo Método MeDiNa

Para o pavimento 2, manteve-se os materiais, alterou-se o Número N para $7,5 \times 10^6$ e foi inserida a estrutura obtida pelo método DNER. Na Figura 18 pode-se observar a análise do pavimento obtido pelo referido método.

Figura 18 – Análise do Pavimento 2 (DNER)

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
 Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 95%
 Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 99,0%
 Afundamento de Trilha de Roda: 5,5mm

--- ALERTAS ---
 Tráfego elevado para a estrutura proposta.

Fonte: **Software MeDiNa (2022)**

Conforme a análise realizada pelo *software*, é possível notar que foi estimado um valor excessivo de trincas por fadiga de 99% no fim do período de projeto, enquanto o limite seria de 30%, conforme determina o manual do MeDiNa, o que significa que a estrutura obtida não atende aos critérios do novo método. Em vista disso, foi redimensionado o pavimento pelo MeDiNa, de forma que atendesse os parâmetros estipulados. As Figuras 19 e 20 apresentam a estrutura obtida e a análise realizada pelo *software*, respectivamente.

Figura 19 – Estrutura do Pavimento 2 (MeDiNa)

| CAMADA | DESCRIÇÃO DO MATERIAL | TIPO | ESPESSURA (cm) |
|---------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|
| >> 1 << | CONCRETO ASFÁLTICO | RJ CAP 30/45 #19, 1mm Sepetiba | 15 |
| 2 | MATERIAL GRANULAR | BASÁLTICO | 20 |
| 3 | SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO | Solo Argiloso LG'(1) | 15,0 |
| SL | SUBLEITO | Solo Argiloso LG' (1) | 0,0 |

Fonte: **Adaptado do Software MeDiNa (2022)**

Figura 20 – Análise do Pavimento 2 (MeDiNa)

--- DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO NOVO ---
 Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 95%
 Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 28,5%
 Afundamento de Trilha de Roda: 1,7mm

Fonte: **Software MeDiNa (2022)**

Verificada a análise elaborada pelo MeDiNa, estimou-se que a estrutura dimensionada por esse método para o pavimento 2, está dentro dos limites definidos na Tabela 4, visto que calculou uma área trincada de 28,5% e o afundamento de trilha de roda de 1,7mm ao fim do período.

6.6 Pavimento 3 dimensionado pelo Método MeDiNa

A fim de dimensionar o pavimento 3, alterou-se o Número N para $2,5 \times 10^7$, foi introduzida e analisada a estrutura obtida pelo método DNER, com a intenção de estimar a espessura das camadas de base e reforço do subleito, a análise desse pavimento pode ser observada na Figura 21.

Figura 21 – Análise do Pavimento 3 (DNER)

```

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa
MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 95%
Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 99,0%
Afundamento de Trilha de Roda: 4,0mm

--- ALERTAS ---
Tráfego elevado para a estrutura proposta.

```

Fonte: Software MeDiNa (2022)

Após observada a análise realizada pelo *software* MeDiNa, é possível verificar que, segundo a análise, há a estimativa de que 99,0% do pavimento estará trincado no fim do período de projeto e com afundamento de trilha de roda igual a 4,0 mm. Isto quer dizer que a área trincada muito elevada está fora dos parâmetros definidos pelo MeDiNa. Tendo isso em vista, foram alteradas as espessuras das camadas e analisada a nova estrutura. As Figuras 22 e 23 exibem a estrutura dimensionada e a análise realizada pelo *software*.

Figura 22 – Estrutura do Pavimento 3 (MeDiNa)

| CAMADA | DESCRIÇÃO DO MATERIAL | TIPO | ESPESSURA (cm) |
|---------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|
| >> 1 << | CONCRETO ASFÁLTICO | RJ CAP 30/45 #19, 1mm Sepetiba | 15 |
| 2 | MATERIAL GRANULAR | BASÁLTICO | 30 |
| 3 | SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO | Solo Argiloso LG'(1) | 15,0 |
| SL | SUBLEITO | Solo Argiloso LG' (1) | 0,0 |

Fonte: Software MeDiNa (2022)

Figura 23 – Análise do Pavimento 3 (MeDiNa)

```

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa
MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 95%
Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 99,0%
Afundamento de Trilha de Roda: 1,8mm

--- ALERTAS ---
Tráfego elevado para a estrutura proposta.
  
```

Fonte: *Software MeDiNa (2022)*

Como pode ser observado na Figura 23, o pavimento 3, com os materiais adotados, obteve uma estrutura que não satisfaz os critérios do método, com área trincada estimada acima do limite definido pelo *software* (Tabela 4), dessa forma, foi adotada a estrutura com menor deformação permanente avaliada pelo *software*, isto ocorreu devido ao tráfego ser mais elevado que o adotado para os outros pavimentos e os materiais não resistirem ao mesmo. Para que o pavimento apresentasse resultados satisfatórios, seria necessário utilizar um revestimento com aditivos.

6.7 Comparativo entre as estruturas dimensionadas

As Figuras 24 a 26 apresentam as estruturas obtidas no dimensionamento realizado pelo método DNER e MeDiNa e os valores obtidos de área trincada e afundamento de trilha de roda estimados pelo *software*.

Figura 24 – Pavimento 1

| PAVIMENTO 1 | MÉTODO DNER | MÉTODO MeDiNa |
|---------------------|----------------|------------------|
| | ESPESSURA (cm) | |
| REVESTIMENTO | 5 | 7,2 |
| BASE | 20 | 15 |
| REFORÇO DO SUBLEITO | 30 | 15 |
| SUBLEITO | ∞ | ∞ |
| ÁREA TRINCADA | 45,30% | 28,40% |
| ATR | 7,3mm | 5,1mm |

Fonte: *Autoria própria (2022)*

Figura 25 – Pavimento 2

| PAVIMENTO 2 | MÉTODO DNER | MÉTODO MeDiNa |
|---------------------|----------------|---------------|
| | ESPESSURA (cm) | |
| REVESTIMENTO | 7,5 | 15 |
| BASE | 20 | 20 |
| REFORÇO DO SUBLEITO | 30 | 15 |
| SUBLEITO | ∞ | ∞ |
| ÁREA TRINCADA | 99% | 28,50% |
| ATR | 5,5mm | 1,7mm |

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 26 – Pavimento 3

| PAVIMENTO 3 | MÉTODO DNER | MÉTODO MeDiNa |
|---------------------|----------------|---------------|
| | ESPESSURA (cm) | |
| REVESTIMENTO | 10 | 15 |
| BASE | 20 | 30 |
| REFORÇO DO SUBLEITO | 30 | 15 |
| SUBLEITO | ∞ | ∞ |
| ÁREA TRINCADA | 99% | 99,00% |
| ATR | 4,0mm | 1,8mm |

Fonte: Autoria própria (2022)

Pode ser observado, na Figura 24, que o pavimento 1 dimensionado pelo método MeDiNa, obteve a camada de revestimento 2,2 cm mais espessa quando comparado à mesma determinada pelo DNER. Por outro lado, as camadas de base e reforço do subleito, calculadas pelo método empírico-mecanicista, revelaram camadas com espessuras menores, fato que resultou em uma estimativa de área trincada e afundamento de trilha de roda menores que o pavimento dimensionado pelo antigo método ao fim do período projetado, além desses valores estarem dentro dos limites estipulados pelo MeDiNa.

Com relação ao pavimento 2, exposto na Figura 25, o método DNER determinou a camada de revestimento com espessura menor que o outro método, a base com a mesma dimensão e o reforço do subleito mais espesso. A estrutura obtida pelo DNER, teve sua estimativa de área trincada de 99%, o que ultrapassou os limites aceitáveis do MeDiNa. Em contrapartida, a deformação permanente é aceita pelo *software*. O pavimento dimensionado pelo novo método atingiu resultados satisfatórios ao fim do período de projeto.

O pavimento 3, exibido na Figura 26, dimensionado pelo método MeDiNa, resultou em uma estrutura em que as camadas de revestimento e de base devem ter espessuras maiores e a de reforço do subleito menor quando comparado ao pavimento dimensionado pelo método DNER. Apesar das diferenças entre as estruturas, ambas não obtiveram estimativas de área trincada satisfatórias aos parâmetros utilizados pelo MeDiNa, devido ao tráfego considerado ser elevado. Seria necessário adotar outros materiais para que esse pavimento atendesse as solicitações da via. Em compensação, as duas estruturas respeitaram o limite de afundamento de trilha de roda.

Após estudar os pavimentos obtidos pelo DNER e MeDiNa, conclui-se que para o tráfego mais pesado, com os materiais adotados, ambos os métodos atingiram em estruturas que não respeitaram um dos critérios de ruptura do método MeDiNa ao longo do período projetado, visto que o *software* estimou 99% de área trincada. Já os pavimentos 1 e 2, dimensionados pelo MeDiNa, alcançaram análises dentro dos valores limites de tolerância, enquanto os pavimentos calculados pelo método DNER ultrapassaram o percentual de área trincada ao fim do período. Ressalta-se que todos os pavimentos atingiram o afundamento de trilha de roda menor que 10,0mm, determinado pelo manual do MeDiNa.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo comparar estruturas de pavimentos flexíveis dimensionadas pelo Método de Dimensionamento do Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER) e pelo Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa). O foco principal de um dimensionamento de pavimento é definir espessuras e materiais capazes de suportar as solicitações da via, de forma que apresente um comportamento satisfatório funcional e estrutural até o fim de sua vida útil de projeto.

Por meio das análises realizadas, verificou-se que as estruturas obtidas pelo método DNER se demonstraram insuficientes aos parâmetros utilizados pelo novo método, em virtude do seu critério de ruptura ser apenas a deformação permanente, apresentando áreas trincadas maiores que o limite estipulado no fim do período de projeto. Enquanto o método MeDiNa, por considerar modelos que preveem e verificam a deformação permanente e a fadiga determina estruturas que respeitam os critérios.

Para a utilização do *software* MeDiNa é necessário que haja conhecimento de diversos dados de todos os materiais a serem utilizados na estrutura, obtidos por meio de ensaios normatizados pelo DNIT. Dessa forma ressalta-se a importância da estruturação de laboratórios que realizam esses ensaios junto a compreensão deles, além do aprofundamento em métodos empírico-mecanicistas.

A implantação deste novo método de dimensionamento, realizada de forma adequada com todos os materiais necessários, representa um grande avanço na pavimentação do país.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9895: Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC): Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016
- BATELO, Leda Cristina Elias. **Estudo das características físicas de um solo de Campo Mourão por meio de ensaios de laboratório**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.
- BERNUCCI, Liedi Bariani. MOTTA, Laura Maria Goretti. CERATTI, Jorge Augusto Pereira. SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2006.
- BRASIL. DNIT. Ministério da Infraestrutura. **Manual MeDiNa. Versão 1.1.5**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/medina/medina-1-1.5>>. Acesso em 11 de setembro de 2022.
- BRASIL. DNIT. Ministério da Infraestrutura. **MeDiNa**, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/medina>>. Acesso em 11 de setembro de 2022.
- CARPENTER, S.H.; GHUZLAN, K.A.; SHEN, S. **A fatigue endurance limit for highway and airport pavements**. Proceedings Highway Research Board, Washington, 2003.
- CHIARELLO, Gabriéli Pires et al. 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. In: **Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da Anpet**. 2019.
- CNT -CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de Rodovias 2021: relatório gerencial**. Brasília, 2021.
- CNT -CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília, DF, 2017
- CUNHA, Marcos Bottene. **Avaliação do método Bailey de seleção granulométrica de agregados para misturas asfálticas**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- DE LIMA, Caroline Dias Amancio; DA MOTTA, Laura Maria Goretti; ARAGÃO, Francisco Thiago Sacramento. Análise das tensões aplicadas nos ensaios de deformação permanente de solos e britas para o dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos. In: **33o Congresso de Pesquisa e Ensino de Transporte da ANPET**. 2019
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). NORMA 005/2006 – EM –Cimentos asfálticos de petróleo - Concreto asfáltico - Especificação de material. Rio de Janeiro, 2006. 6 p

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). NORMA 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Espírito Santo, 2006. 14 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). NORMA 135/2018 – ME – Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018. 13 p

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). NORMA 136/2018 – ME: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018. 9 p

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). NORMA 172/2016 – ME intitulada “Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio”. Brasília, 2016. 17 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). NORMA 183/2018 – ME: Pavimentação asfáltica - Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018. 15 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). NORMA 412/2019 – ME – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento. Brasília, 2019. 12 p.

DNIT; Departamento nacional de infraestrutura de transporte, Manual de estudos de tráfego, IPR 723. Rio de Janeiro, 2006. 384 p.

DNIT. Departamento nacional de infraestrutura de transporte, Manual de Pavimentação. 3. Ed, IPR 719. Rio de Janeiro, 2006.

FRANCO, F. A. C. de P. **Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – SISPAV**. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007. Disponível em: <<http://www.coc.ufrj.br/pt/teses-de-doutorado/151-2007/1107-filipe-augusto-cinque-de-proenca-franco>>. Acesso em 26 maio 2022

FRITZEN, M. A. **Desenvolvimento e validação de função de transferência para previsão do dano por fadiga em pavimentos asfálticos**. Marcos Antonio Fritzen– Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016

GONÇALVES, Ricardo Freire et al. **Proposta de ajuste nas energias de compactação para dosagem de misturas asfálticas com uso de compactador giratório em função da estrutura de pavimento**. 2019. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-07022019-144409/pt-br.php>>. Acesso em 31 maio 2022.

GUIMARÃES, Antônio CR. **Um método mecanístico-empírico para a previsão da deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 367, 2009.

HASHIMOTO, Thiago Kei. **Estudo técnico de agregado reciclável de resíduo de construção e demolição em pavimentos de médio volume de tráfego**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

JOLIET.Y.; MALLOT,M. **Precautions when interpreting rutting results from the LCPC traffic simulator**, 2º Eurasphalt & Eurobitume Congress Barcelona, 2000.

MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis: critério de confiabilidade e ensaios de carga repetidas**. 1991. 366p. 1991. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MOURA, Edson de. **Estudo de deformação permanente em trilha de roda de misturas asfálticas em pista e em laboratório**. 2010. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

NASCIMENTO, LAH do. **Nova abordagem da dosagem de misturas asfálticas densas com uso do compactador giratório e foco na deformação permanente**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ.

NETO, Torres et al. **Execução e Avaliação dos ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC) do subleito e Dimensionamento do pavimento utilizados na pavimentação da pista de rolamento do BRT Norte-Sul de Goiânia-Trecho Avenida Goiás Norte**. 2019. Disponível em: <<http://repositorio.ifg.edu.br:8080/handle/prefix/338>>. Acesso em 24 maio 2022.

NOGUEIRA, Mônica Grassi. **Comparação do comportamento em campo de concretos asfálticos com CAP 30-45 e com CAP 50-70 para revestimentos de pavimentos**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PINTO, Salomão; PREUSSLER, E. S. **Módulos resilientes de concretos asfálticos**. Reunião Anual de Pavimentação, v. 15, 1980.

SANTOS, Anthony Gomes dos. **Estudo teórico do efeito da interação entre camadas no comportamento estrutural de pavimentos asfálticos**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SAGRILO, Amanda Vielmo et al. **Estudo de deformabilidade e empacotamento de britas com diferentes origens litológicas do estado do Rio Grande do Sul**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. 761 p.

SOARES, Jorge Barbosa; MOTTA, L. M. **Considerações sobre a Determinação do Fator de Veículo no Cálculo do Número N**. In: Congresso de Ensino e Pesquisa e Ensino em Transportes. 2001. p. 381-389.

SOUZA, Murillo Lopes de. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. IPR Publ, v. 667, n. 3, 1981.