



INSTITUTO FEDERAL
GOIÁS
Câmpus Anápolis

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ANÁPOLIS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA
MOBILIDADE

COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DNIT E MEDINA

BEATRIZ MORAES ALVES

ORIENTADORA: Prof. D.Sc. ANGELA CUSTÓDIA GUIMARÃES QUEIROZ

PUBLICAÇÃO:

ANÁPOLIS

2022

BEATRIZ MORAES ALVES

**COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DNIT E MEDINA**

Trabalho de Conclusão do Curso II de Engenharia Civil da Mobilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Anápolis, como requisito parcial para conclusão de curso.

Orientadora: Prof. D.Sc. Angela Custódia Guimarães Queiroz

ANÁPOLIS, 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

ALVES, Beatriz Moraes
A474c Comparativo entre os métodos de dimensionamento
de pavimentos flexíveis DNIT e medina / Beatriz
Moraes Alves – Anápolis: IFG, 2022.
67 p. : il. color.

Orientadora: Prof. Dra. Angela Custódia Guimarães
Queiroz.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás: Câmpus Anápolis – Engenharia Civil da
Mobilidade, 2022.

1. Pavimentação. 2. Dimensionamento. 3. MeDiNa
4. Engenharia. 5. DNIT. I. QUEIROZ, Angela Custódia
Guimarães orien.. II. Título.

CDD 625.7

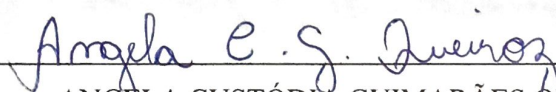
BEATRIZ MORAES ALVES

**COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DNIT E MEDINA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil da Mobilidade
do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás –
Campus Anápolis, como requisito parcial para conclusão de curso.

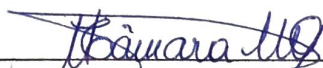
Orientadora: Prof. D.Sc. Angela Custódia Guimarães Queiroz

APROVADO EM 09 / 12 / 2022



ANGELA CUSTÓDIA GUIMARÃES QUEIROZ, D.Sc. (IFG)

(ORIENTADORA)



MARIA TÂMARA DE MORAES GUIMARÃES SILVA, D.Sc. (IFG)

(EXAMINADORA INTERNA)



JOSIENE CHRYSTINA RIBEIRO CARDOSO

(EXAMINADORA EXTERNA)

ANÁPOLIS, 2022



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Beatriz Moraes Alves

Matrícula: 20181060130093

Título do Trabalho: Comparativo entre os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis DNIT e MeDiNa.

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Anápolis - GO, 14/12/2022.

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

I have a definition of success. It's about how many shining eyes I have around me.

(Benjamin Zander)

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por me conceder esta graça, a minha mãe por me apoiar durante toda a minha caminhada acadêmica e à memória de minhas avós.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que me permitiu alcançar meus objetivos durante todos os meus anos de estudos.

Aos meus pais, Waldira e Benedito, agradeço pelo amor e carinho dados em minha criação. Em especial a minha mãe, pela perseverança e determinação que me encorajaram a chegar até aqui. Agradeço-os por toda a educação e exemplo de honestidade, valores que sempre levarei na vida.

Aos amigos, Wellington Mees, Glaicy Kelly Mendanha e Tayane Nascimento que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional, pelos momentos de descontração que me proporcionaram e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

À professora Angela Queiroz, por ter me dado seu voto de confiança para ser minha orientadora e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade. Agradeço ainda pela paciência, disposição, pela instrução e pela oportunidade de poder aprender algo novo.

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

A todos os professores, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

RESUMO

O pavimento é a estrutura por onde trafega a maior parte das cargas brasileiras, além disso as rodovias pavimentadas são os maiores elos de ligação neste país de dimensões continentais. Dado tal importância econômica, social e logística que o pavimento dispõe no Brasil, é de interesse da sociedade que existam estudos sobre a estrutura dele e os avanços tecnológicos na área. Assim, o presente trabalho se propõe a comparar os dois métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis vigentes no país na atualidade, sendo eles os métodos DNIT e MeDiNa. O método DNIT, que está consolidado no território há 50 anos como o responsável pelo dimensionamento de pavimentos flexíveis, é de ordem empírica, isto é, considera dados de estudo e ciência para fundamentar sua análise estrutural, em contrapartida, o método MeDiNa emerge como uma nova solução pautada em uma lógica empírico-mecanística, ou seja, a união de conhecimentos de base empírica e prática. Para concretizar o objetivo foram realizadas pesquisas por projetos executivos de pavimentação que contivessem estudos de tráfego, bem como informações sobre os materiais que compõem as camadas da estrutura. Com essas informações, foi realizada uma avaliação do pavimento proposto em projeto, por meio do programa MeDiNa. A partir do resultado obtido nessa etapa, os pavimentos foram designados como bons ou subdimensionados, o último sendo aqueles que não preservaram boas condições de uso após o período de projeto. Para esses foram propostas novas alternativas, com novas medidas de espessura das camadas. Dentre os cinco projetos analisados, três foram considerados subdimensionados, por apresentarem grande percentual de área trincada, consequentemente tiveram suas camadas redimensionadas no MeDiNa até se chegar em uma análise considerada aceitável.

Palavras-chave: Pavimentação. Dimensionamento. MeDiNa

ABSTRACT

The pavement is the structure through which most of the Brazilian cargo travels, and paved roads are the major links in this continental-sized country. Given such economic, social and logistical importance that the pavement has in Brazil, it is of interest to society that there are studies on its structure and technological advances in the area. Thus, this paper proposes to compare the two design methods for flexible pavements currently in force in the country, namely the DNIT and MeDiNa methods. The DNIT method, which has been consolidated in the territory for 50 years as the method responsible for the design of flexible pavements, is empirical, this is, it considers data from studies and science to support its structural analysis. On the other hand, the MeDiNa method emerges as a new solution based on an empirical-mechanistic logic, this is, the union of empirical and practical knowledge. To achieve this goal, research was conducted on executive paving projects that included traffic studies and information on the materials that make up the layers of the structure. With this information, an evaluation of the pavement proposed in the project was performed using the MeDiNa program. Based on the results obtained in this stage, the pavements were designated as good or undersized, the latter being those that did not preserve good conditions of use after the design period. For these, new alternatives were proposed, with new layer thickness measurements. Among the five projects analyzed, three were considered undersized because they presented a high percentage of cracked área, consequently, their layers were resized in MeDiNa until reaching an analysis considered acceptable.

Keywords: Paving. Dimensioning. MeDiNa

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AGETOP	Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas
APDG	Austroads Pavement Design Guide
CBR	California Bearing Ratio
CENPES	Centro de Pesquisas da Petrobras
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (Atual DNIT)
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IS	Índice de suporte
MeDiNa	Método de dimensionamento nacional
MEPGD	Método Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS

Figura 1 -	Distribuição de pressões sobre o pavimento.....	18
Figura 2 -	Camadas de um pavimento flexível.....	19
Figura 3 -	Dimensionamento do pavimento.....	28
Figura 4 -	Interface do programa MeDiNa.....	30
Figura 5 -	Camadas do pavimento no MeDiNa.....	31
Figura 6 -	Localização das cidades dos projetos escolhidos no mapa do Brasil.....	34
Figura 7 -	Localização do projeto entre as cidades de Planalto da Serra e Nova Ubiratã (MT).....	35
Figura 8 -	Localização do projeto em Pontão (RS).....	36
Figura 9 -	Localização do projeto entre as cidades de Jaborandi e Cocos (BA)....	37
Figura 10 -	Localização do projeto em Canoinhas (SC).....	38
Figura 11 -	Localização do projeto em Brasília (DF).....	40
Figura 12 -	Diagrama dos dimensionamentos propostos para o projeto de Brasília (DF).....	43
Figura 13 -	Dados do tráfego no programa MeDiNa.....	44
Figura 14 -	Contagem de tráfego projeto Brasília (DF).....	45
Figura 15 -	Cálculo do fator de veículos (FV) no programa MeDiNa.....	45
Figura 16 -	Análise com o dimensionamento DNIT projeto Planalto da Serra e Nova Ubiratã (MT).....	52
Figura 17 -	Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Planalto da Serra e Nova Ubiratã (MT).....	53
Figura 18 -	Análise com o dimensionamento DNIT projeto Pontão (RS).....	54
Figura 19 -	Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Pontão (RS).....	54
Figura 20 -	Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Pontão (RS).....	54
Figura 21 -	Análise com o dimensionamento DNIT projeto Jaborandi e Cocos (BA)	56
Figura 22 -	Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Jaborandi e Cocos (BA).....	56
Figura 23 -	Análise com o dimensionamento DNIT projeto Canoinhas (SC).....	57

Figura 24 -	Análise com o dimensionamento DNIT projeto Brasília DF 075 (Alternativa 1).....	58
Figura 25 -	Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Brasília DF 075 (Alternativa 1).....	58
Figura 26 -	Análise com o dimensionamento DNIT projeto Brasília DF 075 (Alternativa 2).....	59
Figura 27 -	Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Brasília DF 075 (Alternativa 1).....	60
Figura 28 -	Análise com o dimensionamento DNIT projeto Brasília DF 001 (Alternativa 1).....	61
Figura 29 -	Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Brasília DF 001 (Alternativa 1).....	61
Figura 30 -	Análise com o dimensionamento DNIT projeto Brasília DF 001 (Alternativa 2).....	62
Figura 31 -	Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Brasília DF 001 (Alternativa 2).....	63

GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Fatores de equivalência de operação.....	24
Gráfico 2 -	Ábaco de determinação de espessuras de pavimento.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Coeficiente de equivalência estrutural.....	25
Tabela 2 -	Espessura mínima de revestimento betuminoso.....	26
Quadro 1 -	Parâmetros do modelo de previsão da deformação permanente obtidos por Guimaraes (2009).....	32
Tabela 3 -	Dados do projeto entre as cidades de Planalto da Serra e Nova Ubatã	35
Tabela 4 -	Dados do projeto em Pontão (RS).....	37
Tabela 5 -	Dados do projeto entre as cidades de Jaborandi e Cocos.....	38
Tabela 6 -	Dados do projeto em Canoinhas (SC).....	39
Tabela 7 -	Pavimento flexível – CBUQ com polímero e base em BGS (Alternativa 1).....	40
Tabela 8 -	Pavimento flexível – CBUQ sem polímero e base em BGS (Alternativa 2).....	42
Tabela 9 -	Módulos de resiliência e resistência de misturas investigadas no país (25°C).....	46
Tabela 10 -	Ensaio de módulo de resiliência.....	48
Tabela 11 -	Espessuras permitidas de acordo com o material da camada.....	48
Tabela 12 -	Compatibilização de materiais.....	49
Tabela 13 -	Crêrios e confiabilidade de cada tipo de via.....	50
Tabela 14 -	Alertas e sugestões para resolver os motivos encontrados.....	51
Tabela 15 -	Comparação entre as espessuras das camadas do projeto Planalto da Serra e Nova Ubatã (MT).....	53
Tabela 16 -	Comparação entre as espessuras das camadas do projeto Pontão (RS).....	55
Tabela 17 -	Comparação entre as espessuras das camadas do projeto Jaborandi e Cocos (BA).....	56
Tabela 18 -	Comparação entre as espessuras das camadas do projeto Brasília DF 075 (Alternativa 1).....	59
Tabela 19 -	Comparação entre as espessuras das camadas do projeto Brasília DF 075 (Alternativa 2).....	58
Tabela 20 -	Comparação entre as espessuras das camadas do projeto Brasília DF 001 (Alternativa 1).....	62

Tabela 21 -	Comparação entre as espessuras das camadas do projeto Brasília DF	
	001 (Alternativa 2).....	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. BREVE HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO	16
2.2. DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO	17
2.3. TIPOS DE PAVIMENTO	17
2.4. PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	18
2.5. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL	20
2.6. MÉTODO DNIT	21
2.6.1. Roteiro de dimensionamento:.....	22
3. METODOLOGIA	33
3.1. PROJETOS ESCOLHIDOS	33
3.1.1. Projeto Planalto da Serra e Nova Ubiratã (MT)	34
3.1.2. Projeto Pontão (RS).....	36
3.1.3. Projeto Jaborandi e Cocos (BA).....	37
3.1.4. Projeto Canoinhas (SC)	38
3.1.5. Projeto Brasília (DF)	39
3.2. PREENCHIMENTO DOS DADOS DE TRÁFEGO	43
3.3. ADAPTAÇÃO DOS MATERIAIS	46
3.4. CRITÉRIOS AVALIADOS	50
4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	52
4.1. PROJETO PLANALTO DA SERRA E NOVA UBIRATÃ (MT)	52
4.2. PROJETO 2 PONTÃO (RS).....	53
4.3. PROJETO JABORANDI E COCOS (BA).....	55
4.4. PROJETO 4 CANOINHAS (SC)	57
4.5. PROJETO 5 – BRASÍLIA (DF)	57
4.5.1. DF 075 - Alternativa 1	57
4.5.2. DF 075 - Alternativa 2	59
4.5.3. DF 001 - Alternativa 1	60
4.5.4. DF 001 - Alternativa 2	62
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

Os avanços da humanidade foram marcados pela busca de uma maneira mais simples de vencer distâncias. O progresso dos meios de transporte foi fundamental para contribuir com a satisfação dessa necessidade humana, no entanto foi preciso também que as vias por onde os veículos trafegam fossem concebidas visando a qualidade, o conforto do usuário, entre outros aspectos (BALBO, 2007). Nesse cenário as vias pavimentadas ganharam um lugar de destaque no transporte terrestre, por cumprir um bom papel como caminho para a passagem de veículos (SENÇO, 2007).

No Brasil, o desenvolvimento de técnicas de pavimentação levou ao cenário atual, no qual o pavimento em maior uso é o flexível. Porém ele possui déficits causados particularmente pela falta de atualização do método de dimensionamento que foi revisto pela última vez nos anos 80. (COSTA, 2021). Tal método foi estabelecido no país na década de 1960 pelo engenheiro Murilo Lopes de Souza e é baseado em uma metodologia empírica, ou seja, fundamentada em observação e análise de pavimentos. Embora o método antiquado tenha sua parcela de culpa para o mau estado das rodovias do país, outros fatores como: má conservação, crescimento do tráfego, serviços mal executados também contribuíram para o que se vê atualmente. (PITANGUI, 2019).

No intuito de suprir as lacunas deixadas pelo método empírico, a metodologia empírica-mecanicista aparece como uma solução, pois além de considerar os resultados empíricos, os compatibiliza com os resultados obtidos em campo, o que modela de modo mais fiel o pavimento flexível. Com essa ideia, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) implementou no Brasil o método de dimensionamento Nacional (MeDiNa), um programa de computador fundamentado em teorias empírico-mecanicistas.

O recente método permite avaliar a estrutura do pavimento por meio da análise da elasticidade das camadas que o compõem. (FRANCO; MOTTA, 2020). Para isso, é preciso prover ao *software* com informações dos materiais que irão compor o pavimento. Essas informações precisam ser obtidas em ensaios laboratoriais e por meio de análise mecânica da deformação permanente e da fadiga.

A implantação de um método novo em contrapartida a um já consolidado há mais de cinco décadas no Brasil gera uma ponderação sobre o futuro da pavimentação no país. Nesse contexto, o presente trabalho pretende de forma geral comparar o dimensionamento empírico proposto pelo método DNIT com o empírico-mecanicístico de pavimentos asfálticos MeDiNa.

Os objetivos específicos a serem alcançados com a monografia são:

- Dimensionar, como forma de exemplo, pavimentos flexíveis usando ambos os métodos;
- Demonstrar os dados de entrada usados no dimensionamento pelo método MeDiNa;
- Comparar as mudanças mais significativas entre os dois dimensionamentos e os possíveis motivos;
- Relatar as dificuldades encontradas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. BREVE HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO

O histórico da pavimentação se relaciona à história da humanidade, desde o povoamento do planeta, as conquistas de territórios, a globalização, entre outros aspectos que abrangem a cultura, religião e urbanização (BERNUCCI *et al*, 2008). O aumento da frequência de viagens tornou o transporte um elemento necessário para o desenvolvimento da população, com isso, os caminhos por onde o homem iria passar precisavam ser trafegáveis por todo o ano (SENÇO, 2007). “Como os pavimentos, a história também é construída em camadas e, frequentemente, as estradas formam um caminho para examinar o passado, daí serem uma das primeiras buscas dos arqueólogos nas explorações de civilizações antigas” (BERNUCCI *et al*, 2008, p.11).

Balbo (2007) em seu livro explica que a primeira estrada pavimentada que se tem registro no Brasil foi a Calçada do Lorena, construída no fim do século XVIII entre o planalto Paulista e o Porto de Santos. Os responsáveis pela obra foram engenheiros da escola de fortificações de Lisboa e a obra foi implementada pelo governador da capitania de São Paulo. A diante, no ano de 1841, mais uma obra rodoviária de destaque, a construção de uma via ligando Petrópolis ao Porto da Estrela, a obra foi assinada pelo engenheiro alemão Júlio Frederico Koeler a mando de D. Pedro II, a estrada denominada de Estrada Normal da Serra da Estrela está conservada até os dias atuais. (BERNUCCI *et al*, 2008).

Em meados de 1900 o então presidente Getúlio Vargas cria o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) ligado ao Ministério de Viação e Obras Públicas, isso porque nesse período há um crescente desenvolvimento tecnológico na área da engenharia causado em especial pela 2ª Guerra Mundial. Ainda nessa época, engenheiros brasileiros trocaram conhecimentos e experiências com engenheiros de outros países para desenvolver pistas aeroportuárias no país (BERNUCCI *et al*, 2008).

O estímulo definitivo para o cenário atual da pavimentação no Brasil começou com a proclamação da constituição de 1988, que organizou os municípios brasileiros e previu a

destinação de verbas federais para que as prefeituras pudessem investir no setor de pavimentação e obras de infraestrutura urbana (PREGO, 2001). Assim, em conformidade com o crescimento dos centros urbanos, fez-se necessário expandir serviços de infraestrutura urbana, que incluem pavimentação e drenagem urbana (AGETOP, 2016). A Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGETOP) cita em sua instrução técnica (2016) que apesar do desenvolvimento da pavimentação urbana, fatores como a falta de recursos, má gestão pública, falta de fiscalização, um plano diretor mal definido, a expansão desordenada das cidades, entre outros, são responsáveis pela deficiência na pavimentação brasileira.

2.2. DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO

Há numerosas definições do que é um pavimento. Segundo Gonçalves Silva (2018) o pavimento é uma estrutura pensada para atender o tráfego no maior tempo possível, que está dividida estruturalmente em camadas sobrepostas de diversos materiais. Já, Caio Willi (2018) o define como estrutura responsável por promover conforto ao usuário, qualidade de tráfego e segurança, onde cada camada contribui para tal. Ainda nessa perspectiva, para Bernucci *et al* (2008), o pavimento é o resultado de camadas de espessuras finitas sobrepostas sobre a última camada de terraplenagem, que tem o objetivo técnico e econômico de ter resistência aos esforços do tráfego e do clima, promovendo o bem estar do usuário.

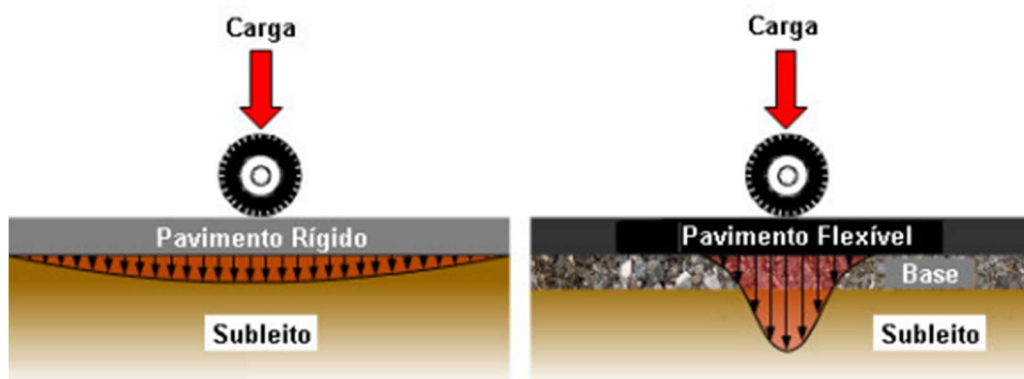
Todas as definições apresentadas podem ser reescritas como um elemento composto de camadas construídas umas sobre as outras que ao fim devem proporcionar qualidade de tráfego, ser economicamente viável e preocupar-se com o bem estar do usuário.

2.3. TIPOS DE PAVIMENTO

A partir da definição de pavimento é possível compreender a classificação dele em dois grupos explicitados na obra de Bernucci *et al* (2008), os pavimentos rodoviários podem ser divididos em dois tipos, os flexíveis e os rígidos. Este último são os feitos de cimento Portland, podendo ser placas armadas ou não de aço enquanto os pavimentos flexíveis são constituídos de ligantes asfálticos com agregados. Senço (2007) também aponta outras distinções entre os dois, segundo ele os pavimentos rígidos sofrem pouca deformação e rompem quando sujeitos a tração na flexão, enquanto o pavimento flexível é mais deformável, podendo romper por fadiga quando sujeitos a compressão e tração, que provocam o surgimento de bacias por onde passam as rodas dos veículos. As tensões solicitantes do pavimento são dissipadas à medida

que a profundidade aumenta, ao comparar os pavimentos rígidos e flexíveis percebe-se que esse processo é mais rápido nos revestimentos rígidos. (MAIA, 2012). Isso pode ser observado na figura 1.

Figura 1- Distribuição de pressões sobre os pavimentos



Fonte: ANDRADE, 2010

Na figura fica claro como que a diferença entre o módulo de elasticidade entre os dois tipos de pavimento se reflete na distribuição de carga nas camadas do pavimento. Enquanto o comportamento do pavimento flexível é absorver os esforços do tráfego em todas as suas camadas, no rígido as placas de concreto absorvem a carga formando pressões verticais bem distribuídas (GUEDES, 2016).

2.4. PAVIMENTO FLEXÍVEL

Com base na distinção geral dos tipos de pavimento é oportuno focar no objeto da pesquisa o pavimento flexível, que é formado por 4 camadas, revestimento, base, sub-base e reforço do subleito (BERNUCCI *et al*, 2008). Tais camadas, como complementa Senço (2007), servem para absorver a pressão que as rodas dos veículos que trafegam sobre um pavimento transferem a ele, por meio da área de contato em formato elíptico, com a pressão sendo exercida concentrada na área carregada, o autor ainda explica que, para efeitos de cálculo considera-se uma carga aplicada uniformemente distribuída numa área de contato circular. De forma geral as camadas podem ser definidas da seguinte forma:

Subleito: produto da terraplenagem recente ou de uma estrada de terra já em uso. É conceituado como o semi espaço infinito mais próximo da superfície, já que de forma proporcional quanto mais se profundo for a camada de solo menor serão as pressões solicitantes atuantes nela, tornando-se desprezível (SENÇO, 2007). Esta camada é composta por matéria

natural compactada, em alguns casos constituído de material transportado que forma um aterro (BALBO, 2007).

Reforço do subleito: camada sobre o subleito usada para melhorá-lo e regularizar a espessura da sub-base (NEPOUMECENO, 2019). Tal camada, como lembra Balbo (2007), não é obrigatória, é empregada quando o subleito é considerado medíocre em resistir aos esforços de cisalhamento. Com o reforço o pavimento resistirá melhor as pressões, pois é composto, de forma obrigatória, de um material mais resistente que o subleito de fundação (BALBO, 2007).

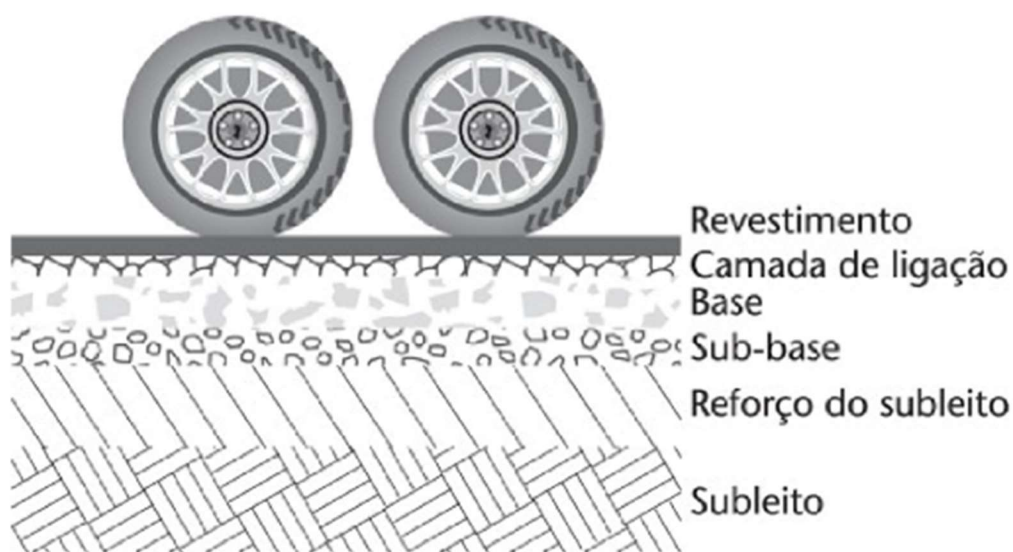
Sub-base: usada comumente para reduzir a espessura da base e tornar a obra mais econômica (NEPOUMECENO, 2019). Também ocorre em algumas situações ter função de drenagem e contentora da capilaridade da água (SILVA, 2018).

Base: é a camada mais solicitada pelas tensões e responsável por aliviar e distribuir os esforços oriundos do tráfego, minorando as tensões que chegam às camadas abaixo dela. Nela também é onde são instalados os dispositivos de drenagem. (GUEDES, 2016)

Revestimento: conhecida também como capa é a camada que sofre ação do tráfego de forma direta (SENÇO, 2007). Balbo (2007) complementa que o revestimento em sua função não deve sofrer grandes deformações, perder sua compactação, nem desagregar seus componentes. Além disso, deve ser impermeabilizado, dispor conforto ao usuário e resistente ao intemperismo (NEPOUMECENO, 2019)

A Figura 2 demonstra a estrutura de um pavimento rodoviário flexível genérico, ressaltando as camadas que o integram.

Figura 2 – Camadas de um pavimento flexível



Fonte: BALBO (2007).

2.5. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

O dimensionamento do pavimento flexível é a denominação das espessuras das camadas do pavimento de maneira que elas resistam, transmitam e distribuam as pressões decorrentes do tráfego de veículos até o subleito. Tal análise envolve estatísticas, cálculos e representações gráficas (SENÇO, 2007). Barbara Costa (2021) explica que os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis são simplistas, no entanto, alguns elementos usados na aplicação demandam mais complexidade, como, volume de tráfego, comportamento dos materiais, manutenção do pavimento, clima entre outros.

Diante das inúmeras variáveis envolvidas no dimensionamento de pavimentos são realizadas simplificações, tais como “o carregamento é considerado circular, uniforme e vertical, admitindo-se a superposição de efeito das rodas múltiplas e a equivalência de operações de eixos de carga, etc” (NEPOMUCENO, 2019).

Para Balbo (2007) é possível classificar os métodos de dimensionamento em três tipos:

- Método empírico: por meio da modelagem empírica que usa estatística de pavimentos em uso para obter um parâmetro físico;
- Método semi-empírico: provém de resultados empíricos que são extrapolados e expandidos. Um exemplo desse método é o uso dos critérios do California Bearing Ratio (CBR) no dimensionamento;
- Método empírico-mecanicista: união dos resultados obtidos em campo e em laboratório que são calibrados em forma de modelos teóricos.

De maneira mais específica Bárbara Costa (2021) elenca em sua dissertação exemplos de dimensionamento que se encaixam em alguma das categorias acima citadas.

- Método australiano – consiste na análise do pavimento nos critérios mecanísticos, considerando tensão e deformação, também conhecido como Austroads Pavement Design Guide (APDG).
- Método inglês – é uma metodologia empírica que possui o princípio de dimensionar a partir do módulo resiliente do subleito.
- Método Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) – criado pela AASHTO em 2004 compreende a análise do pavimento como finitas camadas o que permite prever fadiga, trincamento e deformações permanentes.

Do pressuposto de que há diversas maneiras de delimitar as espessuras das camadas de um pavimento, a síntese generaliza a ser feita é de que o dimensionamento de um pavimento é uma tarefa complexa, de difícil previsão e modelagem por apresentar singularidades que

abrangem distintas variáveis e critérios considerados no processo. Além do mais, a forma de ruptura do pavimento sobre as intempéries torna ainda mais sortido os métodos de dimensionamento do pavimento. (FRANCO, 2007).

2.6. MÉTODO DNIT

Ao considerar que há diversos métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis faz-se necessário se ater em uma linha de pesquisa, neste caso compreender o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis usado no Brasil. Atualmente ele é o método DNER, também chamado de método CBR (Califórnia Bearing Ratio). Foi introduzido no país pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza no ano de 1966 (COSTA, 2021). É um método de base empírica fundamentada no "Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume", da autoria de W.J. Turnbull, C.R. Foster e R.G. Ahlvin, do Corpo de Engenheiros do Exército dos E.E.U.U. e conclusões obtidas na Pista Experimental da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (DNIT, 2006). Inicialmente, o ensaio CBR foi proposto na Califórnia nos anos 1920, onde uma pesquisa coordenada por O.J. Porter buscava compreender os motivos que levavam a ruptura dos pavimentos do estado. Foi possível constatar que os fatores iam desde subleito com excesso de umidade, bases com resistência inferior à solicitada, má compactação, e espessuras menores do que necessário nas camadas. (SOUZA, 1966; COUTINHO, 2011, apud NEPOMUCENO, 2019, p. 83).

Na posição de ser um método pioneiro de dimensionamento, o CBR, foi originado de maneira inteiramente empírica e dele surgiram diversas variantes a serem aplicadas. (SILVA, 2018). Apesar disso, já eram considerados alguns parâmetros para fundamentar o método, como um valor mínimo de espessura do revestimento, classificação granulométrica dos materiais usados, análise de tráfego, um coeficiente estrutural e a capacidade de suporte do subleito. (COUTINHO, 2011). Apesar de considerar muitos elementos, a maneira como eles são determinados não concede uma plena segurança à estrutura do pavimento, porque a metodologia CBR aplicada em laboratório não exprime as condições que o material será exposto em campo. (MORAIS, 2014).

Desta forma, de maneira sumária Fernandes *et al* (2017) explica que o método do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) fundamenta-se nos materiais

constituintes do pavimento, no suporte do subleito, e no tráfego (expressado pelo número N que significa o número de repetições de um eixo de 8,2 t.)

O método DNIT usa o Índice de suporte (IS) para avaliar um potencial de ruptura do subleito e assim relacionar a composição da estrutura do pavimento tentando protegê-lo de uma ruptura por cisalhamento (BIEDACHA, 2020). O ensaio da Capacidade de Suporte dos materiais usados na pavimentação deve ser realizado com base em normas preconizadas pelo DNER- me 049/94 (DNIT, 2006). Com relação a compactação dos materiais, o DNIT (2006) define que ela deve atender às diretrizes das especificações gerais do DNER. Dentre elas está que, “os materiais do subleito devem apresentar uma expansão, medida no ensaio C.B.R., menor ou igual a 2% e um C.B.R. $\geq 2\%$.” (DNIT, 2006, p.142). Outra preconização da norma são as classificações dos materiais empregados no pavimento, que estão listadas abaixo:

- a) Materiais para reforço do subleito, os que apresentam C.B.R. maior que o do subleito e expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb)
- b) Materiais para sub-base, os que apresentam C.B.R. $\geq 20\%$, I.G. = 0 e expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb)
- c) Materiais para base, os que apresentam: C.B.R. $\geq 80\%$ e expansão $\leq 0,5\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb), Limite de liquidez $\leq 25\%$ e Índice de plasticidade $\leq 6\%$. (DNIT, 2006, P.142).

2.6.1. Roteiro de dimensionamento:

Caio Braga (2018) considera que o método pode ser sintetizado em três passos essenciais, que seriam a determinação do tráfego, os materiais que serão usados e por fim o dimensionamento. Com essa premissa e com base no Manual de pavimentação do DNIT (2006) e trabalhos acadêmicos, será apresentado a seguir um roteiro de dimensionamento de pavimento flexível pelo método DNIT.

Tráfego

Franco (2007) considera o tráfego uma variável difícil de ser avaliada, pois existem diferentes tipos de veículos, que transportam distintas cargas. Além disso, prever o quanto o tráfego irá crescer e variar em um intervalo mínimo de 10 anos é um desafio (SILVA, 2018). Assim, a delimitação do pavimento se dá em função do número N, que corresponde a quantidade de operações de um eixo padrão de carga de 8,2 t durante o tempo de projeto designado.

O valor de N é calculado pela expressão (1), que envolve três variáveis: o fator de veículo (Fv); o volume total (Vt) e fator climático (Fr).

$$N = V_t \cdot F_v \cdot F_r \quad (1)$$

Calcula-se Vt- volume total de tráfego durante o projeto- com a equação (2).

$$V_t = 365 \cdot P \cdot V_m \quad (2)$$

Onde P é o período considerado no projeto em anos e Vm é o volume médio diário de tráfego, encontrado por meio da expressão (3).

$$V_m = \frac{V_l [(2 + (P-1)t)/100]}{2} \quad (3)$$

V_l - volume médio diário de tráfego no ano de abertura.

Em caso de avaliação do crescimento da frota em crescimento geométrico o valor de V_t será expresso por:

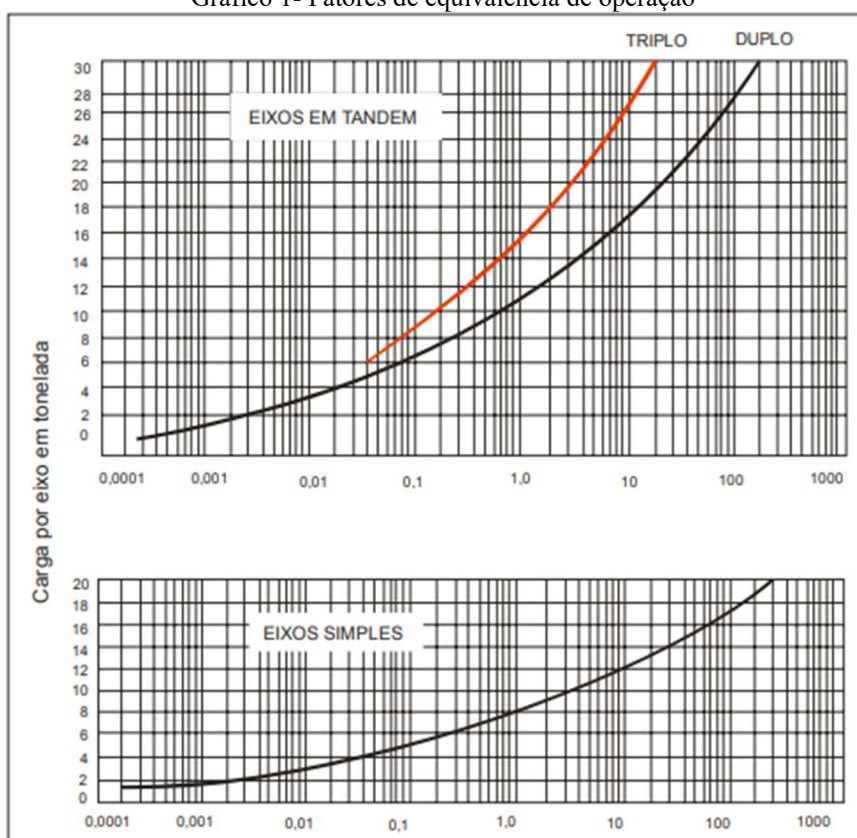
$$V_t = \frac{365 \cdot V_l \cdot \left[\left(1 + \frac{t}{100} \right)^P - 1 \right]}{\frac{t}{100}} \quad (4)$$

A incógnita restante da equação 1, o Fv ou fator de veículos para calculá-la é preciso transformar as distintas cargas dos diversos veículos existentes em cargas equivalentes, chamada de carga do eixo padrão. A formulação 5 traz Fe (fator de eixos, ou seja, o resultado da multiplicação entre o número de veículos por um número qualquer que resulta nos eixos correspondentes) e Fc (fator de carga, que representa o poder de dano dos veículos transeuntes em forma de eixo padrão).

$$F_v = F_e \cdot F_c \quad (5)$$

O manual de pavimentação do DNIT enfatiza que para obter os valores de FE, FC e FV é fundamental conhecer o tráfego, por meio de uma contagem de tráfego na região de estudo, levando em consideração um volume total de tráfego (V_t) em um determinado período. Também é preciso contar o número total de eixos e pesá-los. Assim, os fatores de equivalência podem ser encontrados por meio de gráficos como os apresentados abaixo.

Gráfico 1- Fatores de equivalência de operação



Fonte: DNIT (2006).

Tem-se:

$$Fe = \frac{n}{V_t} \quad (6)$$

n= número total de eixos

Vt= volume total de veículos

Por sua vez, Fc é respondido pela equação (7).

$$FC = \frac{\sum(P_j \cdot FC_j)}{100} \quad (7)$$

Pj- incidência de um determinado veículo em porcentagem obtida pela contagem de tráfego.

FCj- fator de equivalência de operação de cada tipo de veículo, proveniente do Gráfico

1.

Conforme o manual do DNIT (2006), a mudança de umidade nos constituintes do pavimento ao longo das estações do ano, o que interferem na capacidade de suporte do solo, o valor de N precisa ser multiplicado por um coeficiente (FR) que foi definido por experimentação na pista AASHTO e variou de 0,2(pouco úmido) e 5 (solo saturado de umidade). Dessa maneira, “para os projetos brasileiros, tem-se adotado um valor de FR igual a 1.0, que tem como base os estudos desenvolvidos no IPR/DNER” (PITANGUI, 2019, p.12)

Coeficiente de equivalência estrutural

Definido por Balbo (1997) como o potencial de um tipo de material usado na pavimentação de distribuir pressão nas camadas que estão abaixo dela, inferindo que a medida que o módulo de elasticidade do material cresce menor é a pressão exercida na camada subjacente. Silva (2018) diz que é o primeiro passo para definir as espessuras que cada camada do pavimento terá. O autor ainda se refere ao Coeficiente de equivalência estrutural como "a comparação entre a espessura necessária de camada feita com material padrão (base granular" com a espessura equivalente de camada que irá constituir o pavimento de fato" (SILVA, 2018, p.26). Na tabela 1 são demonstrados os coeficientes de equivalência para variados materiais que podem ser usados.

Tabela 1 – Coeficiente de equivalência estrutural

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
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 à 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 (2006).

Cada uma das camadas possui uma sigla genérica para intitulá-la:

– Revestimento: KR

– Base: KB

– Sub-base: KS

– Reforço: KRef

Espessura Mínima de Revestimento

Um valor mínimo de espessura de revestimento é imposto pela norma do DNIT para garantir que a camada não se rompa pelos esforços de tração e flexão oriundos do tráfego. Tal valor é dado em função do número N e focam especialmente em bases de comportamento puramente granular, definidas por observações.

Tabela 2 – Espessura mínima de revestimento betuminoso

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos

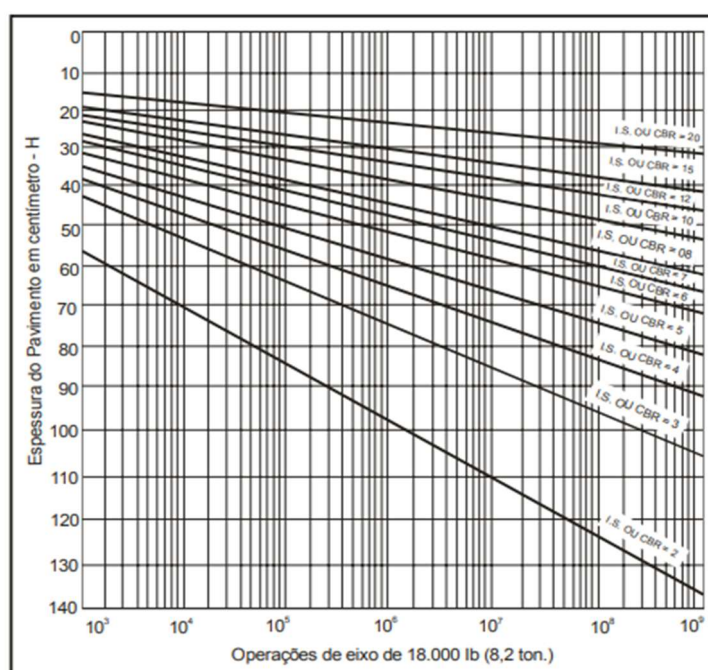
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNIT (2006).

Dimensionamento do pavimento

A partir da obtenção de todos os dados acima citados, o método de dimensionamento se dá por ábacos que usam o número N e o CBR. A figura 2 é o gráfico que fornece a espessura total do pavimento considerando base granular ($K=1$), com base na intersecção do valor de N- no eixo das abscissas- com o valor do CBR ou IS- linhas diagonais- que leva ao eixo das ordenadas para se encontrar o valor de H em centímetros, a espessura total do pavimento. (PITANGUI, 2019).

Gráfico 2 – Ábaco de determinação de espessuras de pavimento



Fonte: DNIT (2006).

Além do ábaco acima a expressão (8) também define o valor da espessura total do pavimento.

$$H = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598} \quad (8)$$

Com o valor de H determinado e sabendo que, a espessura mínima de construção das camadas é de 15 cm e que a norma DNIT (2006) preconiza que na camada de base sempre considere o CBR igual a 20. O cálculo das espessuras das camadas é obtido nas inequações listadas abaixo.

$$RK_R + BK_B \geq H_{20} \quad (9)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20}KS \geq H_n \quad (10)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20}KS + h_nK_{ref} \geq H_m \quad (11)$$

Onde:

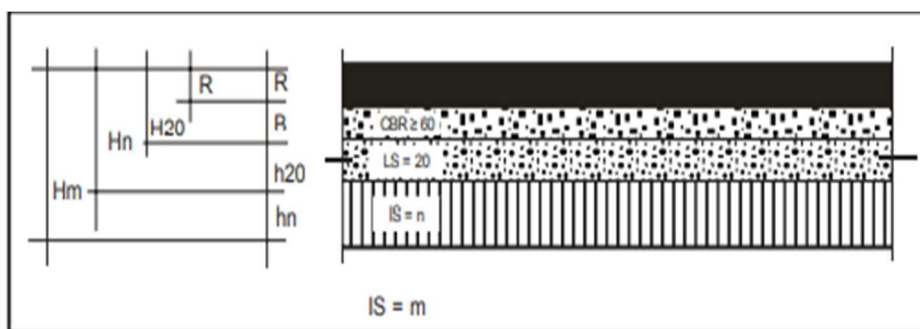
B- espessura da base

h20- espessura da sub-base

hn- espessura do reforço do subleito, se houver.

As espessuras Hm, Hn, H20 são encontradas pelo ábaco do gráfico 2. A figura 3 representa graficamente as disposições das camadas no pavimento.

Figura 3 – Dimensionamento do pavimento



Fonte: DNIT (2006).

2.7. MÉTODO MEDINA

Contrário ao método DNIT de base estritamente empírica, o método de dimensionamento de mais recente uso no país, MeDiNa é fruto de uma metodologia mecanística-empírica. A modelagem empírico-mecanicista é aquela que “busca associar dados relacionados aos materiais utilizados na pavimentação, condições ambientais da localidade e o tráfego aplicado.” (CHIARELLO, *et al*, 2019, p.12).

O método MeDiNa é criado a partir de um Termo de Execução Descentralizado firmado pelo instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE/UFRJ) e o instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), com o apoio de outras universidades brasileira e do Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES). O método de dimensionamento Nacional (MeDiNa) é um programa de computador que busca verificar e dimensionar de forma empírica-mecanística as estruturas que compõem o pavimento asfáltico. (DNIT, 2020).

Os dados de funcionamento do MeDiNa foram refinados por meio de informações colhidas em pistas experimentais espalhadas pelo Brasil, como os trechos que receberam obras de reforço na cidade universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ. (NEPOMUCENO, 2019).

Pitangui (2019, p. 34) resume o método como:

Uma atualização da técnica de dimensionamento de pavimentos anteriormente utilizada no Brasil, realizado majoritariamente pelo Método do DNER, trazendo tecnologias mais avançadas, a aplicação das condições climáticas do país, mensuração do tempo de surgimento de trincas, entre outras vantagens.

A primeira versão do *software* foi disponibilizada em outubro de 2018, atualmente está em sua quinta versão disponível desde de dezembro de 2020. Para que ele cumpra seu devido papel são levantadas algumas hipóteses, fundamentadas nas mesmas soluções para questões de elasticidade linear em conjuntos multicamadas.

- 1) Os materiais são elásticos lineares, isotrópicos e homogêneos;
- 2) A lei de Hooke é válida e o módulo de compressão é semelhante ao módulo de tração;
- 3) As camadas são ilimitadas na direção horizontal;

- 4) Todas as camadas possuem uma espessura finita, à exceção da camada inferior que é considerada semi-infinita;
- 5) A superfície da camada não está sujeita a tensões fora da área carregada.
- 6) Na área carregada ocorrem apenas tensões normais;
- 7) A carga aplicada é considerada estática, uniformemente distribuída em toda a área circular de contato;
- 8) A grandes profundidades as tensões e deformações são nulas;
- 9) As condições de aderência na interface das camadas podem variar de totalmente aderida para lisa ou sem aderência. (DNIT, 2020, p.4)

De forma prática Chiarello *et al* (2019) explica que o dimensionamento do pavimento asfáltico flexível no método MeDiNa se dá pelos esforços que ele sofrerá, levando em consideração o coeficiente de Poisson e o módulo de resiliência, elementos necessários para interpretar a rigidez das camadas. Além desses, outros parâmetros são usados, a deformação permanente para as camadas de solo e a fadiga para o revestimento asfáltico.

O programa permite a realização de dois tipos de dimensionamento: o projeto de reforço ou um novo pavimento (PITANGUI, 2019). A figura 4 abaixo mostra como é a interface dele para o segundo tipo de estudo.

Figura 4 – Interface do programa MeDiNa

MeDiNa - v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Projeto Editar Análise Ajuda

ESTRUTURA MODELAGEM RESULTADOS

RESPONSÁVEL: Beatriz Moraes Alves EMPRESA: IFG

PROJETO: Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc. MODOS: Pavimento Novo (Nível A)

Alterar Estrutura >>

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 30/45 #12,5mm Sepetiba	10,0	9000	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaiss 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

Projeto novo NÍVEL <A>

Fonte: MeDiNa, 2020.

Para definir a estrutura do pavimento o projetista deve prover o *software* com as características de cada camada que compõem a estrutura. (PITANGUI, 2019). Ademais, o manual de uso do programa MeDiNa ressalta que é de extrema importância definir o número equivalente de eixo, número N, pois os modelos matemáticos usados no dimensionamento são moldados com muita facilidade a qualquer variação deste. Isto é, estimá-lo corretamente garante maior confiabilidade de resultados finais.

O programa inicialmente apresenta uma estrutura padrão de pavimento, mas somente como forma de exemplo para o preenchimento dos dados. Primeiramente são vistas quatro camadas - subleito, solo, material granular e concreto asfáltico- esse número pode variar entre três e oito. Na tela inicial de um novo projeto é informado o material, a espessura, o tipo, a resiliência e o coeficiente de Poisson, como na imagem abaixo.

Figura 5 – Camadas do pavimento no MeDiNa

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 30/45 #12,5mm Sepetiba	10,0	9000	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaiss 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

Fonte: MeDiNa, 2020.

No programa MeDiNa, versão 1.1.5 os materiais estão divididos em categorias, como exposto no manual do mesmo.

a) Materiais asfálticos

No *software* consta três tipos: as camadas asfálticas as tradicionais, com asfalto modificado por polímeros e misturadas com borracha. O banco de dados disponível no programa possui misturas asfálticas baseadas em ensaios realizados na COPPE usadas para calibrar a função transferência, há também as misturas de referências utilizadas como guia quando não existem informações completas sobre o projeto.

b) Materiais Granulares; Solos finos, Siltosos e Argilosos.

As camadas feitas de material granular precisam ter uma espessura entre 10 e 40 cm. Além disso, o manual de ajuda esclarece que esse tipo de matéria é representada em medidas

de módulo de resiliência, coeficiente de Poisson e deformação permanente. Ao contrário das outras camadas, essa não é avaliada considerando o dano por fadiga. Pitangui (2019) traz no quadro 1 os modelos de material considerados pelo MeDiNa.

Quadro 1 – Parâmetros do modelo de previsão da deformação permanente obtidos por Guimaraes (2009)

Item	Material	Classificação	$\varepsilon_p^{esp}(\%) = \psi_1(\sigma_3)^{\psi_2} \cdot (\sigma_d)^{\psi_3} \cdot (N)^{\psi_4}$				R ²
			ψ_1	ψ_2	ψ_3	ψ_4	
1	Laterita Acre	Pedregulho	0,105	0,839	-0,014	0,041	0,939
2	Brita Graduada Chapecó	Pedregulho	0,079	-0,598	1,243	0,081	0,951
3	Cascalho Corumbaíba	Pedregulho	0,180	-0,212	0,840	0,443	0,898
4	Laterita de Porto Velho	Pedregulho	0,180	0,470	0,336	0,047	0,809
5	Argila de Ribeirão Preto	LG'	0,206	-0,24	1,34	0,038	0,986
6	Areia Argilosa do ES	LG'	0,643	0,093	1,579	0,055	0,909
7	Solo Papucaia	NS'/NA'	0,244	0,419	1,309	0,069	0,946
8	Areia Fina de Campo Azul/MG	NA	0,050	-1,579	1,875	0,064	0,868
9	Tabatinga Acre	NG'	Não recomendado				

Fonte: Pitangui (2019).

As constantes de deformação devem ser obtidas com ensaio da norma DNIT 179/2018-IR - Pavimentação - Solos - Determinação da deformação permanente.

c) Subleito

Semelhante ao item anterior os subleitos também são representados pelo módulo de resiliência, coeficiente de Poisson e deformação permanente. Para calcular o último item, o manual instrui que é preciso usar o estado de tensões calculado nos pontos sob a roda e entre as rodas, a 25 cm de profundidade do subleito. A deformação permanente é resultado da soma da deformação de cada camada.

Em síntese, o método MeDiNa utiliza sistemas que calculam as tensões no interior de cada uma das camadas do pavimento traduzindo as em modelos de avaliação do desempenho

da estrutura. Para que tal avaliação seja o mais correta possível é necessário que as informações de entrada sejam precisas. (SILVA, 2018).

3. METODOLOGIA

O procedimento metodológico empregado no presente trabalho de propósito descritivo, tem por estratégia a abordagem qualitativa e foi dividido em três fases. A primeira etapa compreendeu a escolha e a coleta de dados de projetos de pavimentação dimensionados pelo método DNIT. A segunda etapa esteve focada no dimensionamento do pavimento flexível no *software* MeDiNa com as informações coletadas e a análise do desempenho do pavimento. Após esta etapa, para as estruturas consideradas subdimensionadas foi proposto um novo dimensionamento pelo método empírico-mecanístico.

A fase inicial consistiu em buscar em meios digitais projetos de pavimentação que foram dimensionados pelo método DNIT. Para que tais documentos fossem selecionados precisavam apresentar no corpo do texto os dados do tráfego, a espessura das camadas do pavimento e o material que as constitui. Para tal fim, foram feitas perquisições na internet, sob o título projeto executivo de pavimentação.

Para a etapa de dimensionamento pelo *software* MeDiNa foi considerado o banco de dados existentes no programa. Isto é, foi utilizado o material especificado em projeto ou o material presente no banco de dados MeDiNa que mais se assemelha a ele. Essa escolha se deu pelo fato de os projetos acessados não disponibilizarem os estudos geotécnicos detalhados, uma vez que os ensaios realizados nas jazidas fornecedoras de matéria prima dizem respeito somente ao dimensionamento DNIT, o que acarretou na ausência de informações como coeficiente de Poisson, módulo de resiliência e deformação permanente.

Por fim, os projetos que retornaram uma análise insatisfatória no que diz respeito a resistir aos esforços do tráfego, isto é, apresentaram uma grande porcentagem de área trincada ao fim do período de projeto e/ou um grande afundamento de trilha de roda (ATR), foi proposto um novo dimensionamento com os mesmos materiais pré-determinados em projeto alterando apenas a medida das espessuras das camadas, até se chegar a um produto adequado.

Diante das limitações de informações, nos projetos analisados, em comparação às solicitadas pelo MeDiNa, serão realizados alguns ajustes para melhor adequar-se aos objetivos do trabalho.

3.1. PROJETOS ESCOLHIDOS

Para execução desta monografia foram escolhidos cinco projetos executivos de pavimentação, dos mais diversos estados da federação brasileira, como mostra o mapa da figura 6. Tais projetos foram retirados da internet por meio de uma escolha baseada em dois principais pilares, dados do tráfego e o dimensionamento do pavimento, pois, para realização do método MeDiNa o programa requer esses dados. No intuito, de melhor conduzir o presente trabalho será apresentado as características gerais de cada um dos projetos de pavimentação eleitos e o dimensionamento proposto pelos projetistas.

Figura 6 – Localização das cidades dos projetos escolhidos no mapa do Brasil



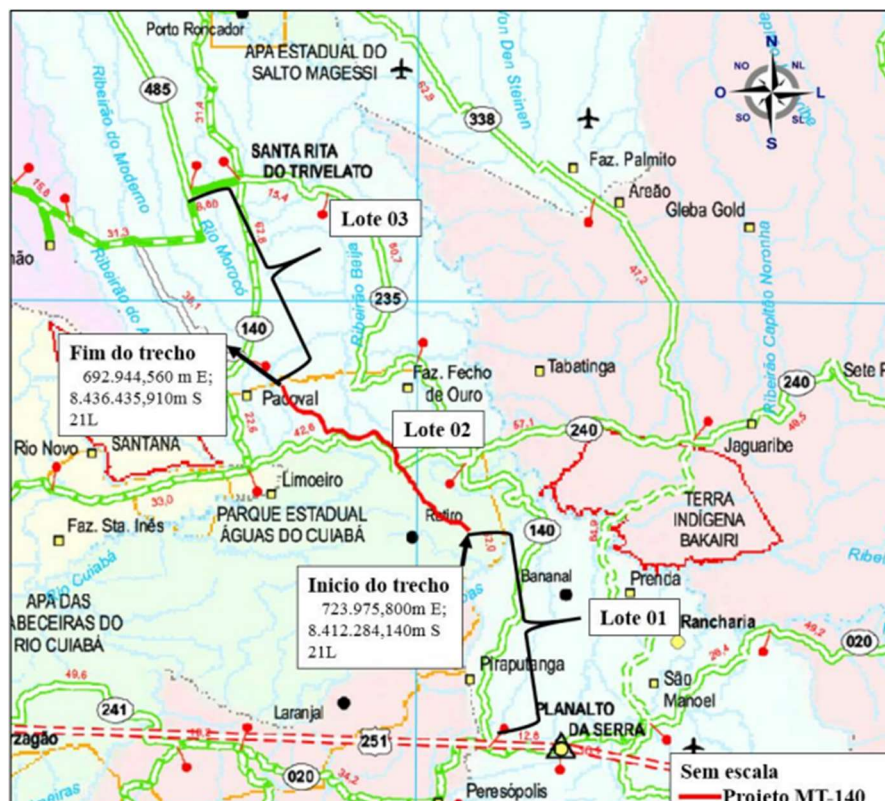
Fonte: Autora.

3.1.1. Projeto Planalto da Serra e Nova Uiratã (MT)

O primeiro projeto a ser apresentado será o projeto executivo de implantação e pavimentação da rodovia localizada na região médio norte do estado do Mato Grosso, a MT – 140, trecho entre MT-020 (Planalto da Serra/MT) e a BR 242 (Nova Uiratã/MT). Com uma

extensão total de 44.480,00 metros, o traçado, apontado em vermelho na figura 7, foi realizado pela N.G.1 Projetos, Consultoria Civil e Ambiental Ltda em agosto de 2020.

Figura 7 – Localização do projeto entre as cidades de Planalto da Serra e Nova Uiratã (MT)



Fonte: EVERALDO TADEL BEZERRA DE CASTRO, 2020.

Para o estudo do tráfego no local foram considerados 10 municípios que estão dentro da área de influência do sentido do tráfego da via. Como resultado foi obtido, considerando um período de projeto de 10 anos (de 2021 a 2030) os dados da tabela 3, abaixo.

Por conseguinte, o projeto de pavimentação foi realizado buscando o menor custo econômico em uma estrutura capaz de resistir aos esforços do tráfego. Com o valor obtido por meio do ensaio preconizado na NBR 9895:2016, se obteve o valor de 5,68% como o índice de suporte do subleito, juntamente com o valor de N igual a $1,03 \times 10^8$ foi possível aos projetistas chegar ao dimensionamento do pavimento exposto na tabela a seguir.

Tabela 3 - Dados do projeto entre as cidades de Planalto da Serra e Nova Uiratã

Camada	Material	Espessura
Subleito	argila arenosa siltosa amarela	-

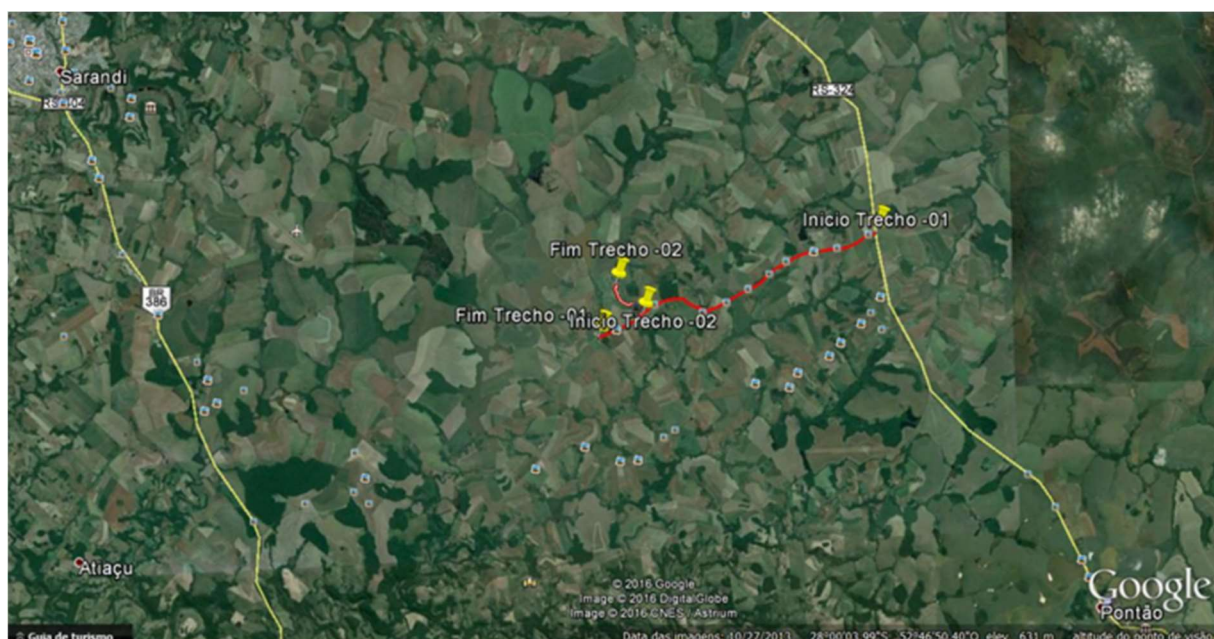
Sub-base	solo brita (20% de brita 01), compactado 100% no Proctor Modificado	20 cm
Base	solo brita (20% de brita 01) melhorado com cimento (3%), compactado 100% no Proctor Intermediário	18 cm
Revestimento (camada de ligação)	BINDER, CBUQ Faixa “B”	8,5 cm
Revestimento (camada de capa)	CBUQ Faixa “C”	4 cm

Fonte: Autora.

3.1.2. Projeto Pontão (RS)

O segundo projeto de pavimentação selecionado está localizado no estado do Rio Grande do Sul, na cidade de Pontão e compreende a execução da pavimentação em uma área de 67.160,00 m², como mostra o mapa de localização (figura 8).

Figura 8 - Localização do projeto em Pontão (RS)



Fonte: Prefeitura Municipal de Pontão, 2016.

Para o pavimento proposto o tráfego foi determinado com $N = 1,85 \times 10^6$, considerando as regulamentações do DNER, que findaram nos resultados exibidos na tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Dados do projeto em Pontão (RS)

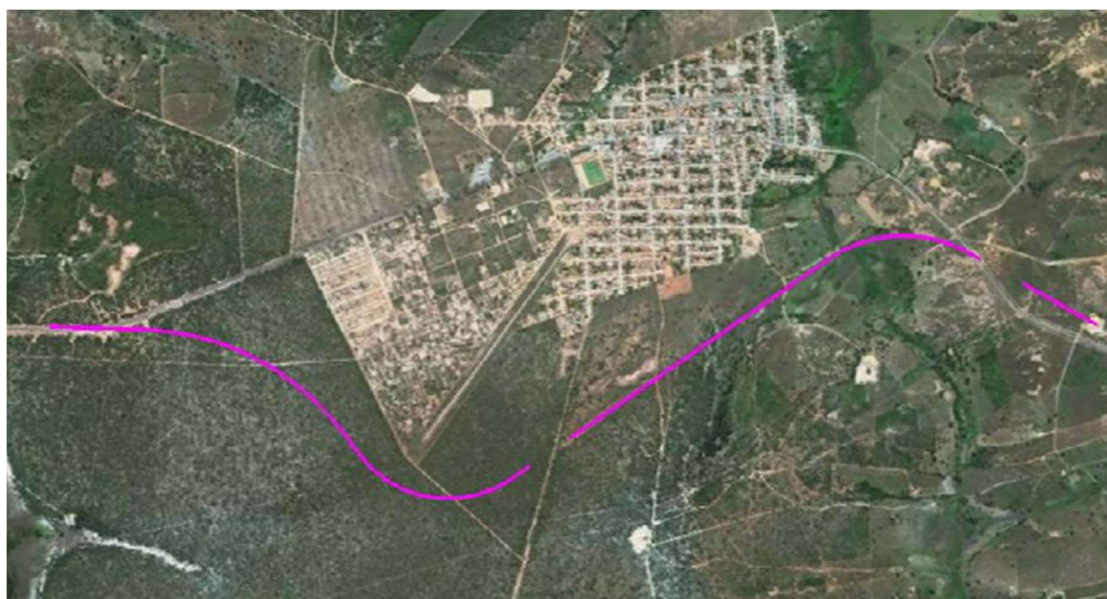
Camada	Material	Espessura
Subleito	Saibro	-
Sub-base	macadame hidráulico	12 cm
Base	brita graduada	12 cm
Revestimento	CBUQ	7 cm

Fonte: Autora.

3.1.3. Projeto Jaborandi e Cocos (BA)

O projeto de dimensionamento da BR 135, localizado na Bahia, mais especificamente entre os municípios de Jaborandi e Cocos, representado na figura 9, foi elaborado pelo Exército Brasileiro – Departamento de Engenharia e Construção – DEC/CENTRAN, utilizando-se o Escopo Básico EB-103: Projeto Executivo de Engenharia para Construção de Rodovias Rurais/DNIT.

Figura 9 - Localização do projeto entre as cidades de Jaborandi e Cocos (BA)



Fonte: DNIT, 2015.

Por se tratar de uma estrada em uma zona rural os valores de tráfego, levantados no estudo com o mesmo nome, podem ser considerados pequenos, de ordem igual a $N = 9,54 \times 10^6$, mas por se tratar de um projeto executivo de pavimentação completo, que apresentam estudos de topografia, tráfego e outros, além de todos os projetos, foi escolhido para ser parte desta monografia. A seguir, a tabela 5 apresenta o resultado do pavimento flexível proposto para essa via.

Tabela 5 - Dados do projeto entre as cidades de Jaborandi e Cocos

Camada	Material	Espessura
Subleito	areia siltosa de coloração variegada, sob a classificação TRB de A-2-4	
Sub-base	solo estabilizado sem mistura	15 cm
Base	solo-brita melhorado com 1,5% de cimento:	15 cm
Revestimento	CBUQ CAP 50/70	7,5 cm

Fonte: Autora.

3.1.4. Projeto Canoinhas (SC)

Por conseguinte, o quarto projeto a ser analisado fica no município de Canoinhas no estado de Santa Catarina. Concerne a um relatório do Projeto Básico e Orçamento apresentado à prefeitura da tal cidade. A figura 10 traz a representação da extensão da via em estudo.

Figura 10 - Localização do projeto em Canoinhas (SC)



Fonte: Autora.

No período de elaboração do projeto a rua contava somente com terraplanagem de solos variados, de onde foi extraído o índice de suporte do subleito, que é mostrado na tabela 6 a seguir, juntamente com as espessuras definidas para cada camada de pavimento. Além disso, o estudo de tráfego realizado apresentou um N de $9,40 \times 10^5$.

Tabela 6 - Dados do projeto em Canoinhas (SC)

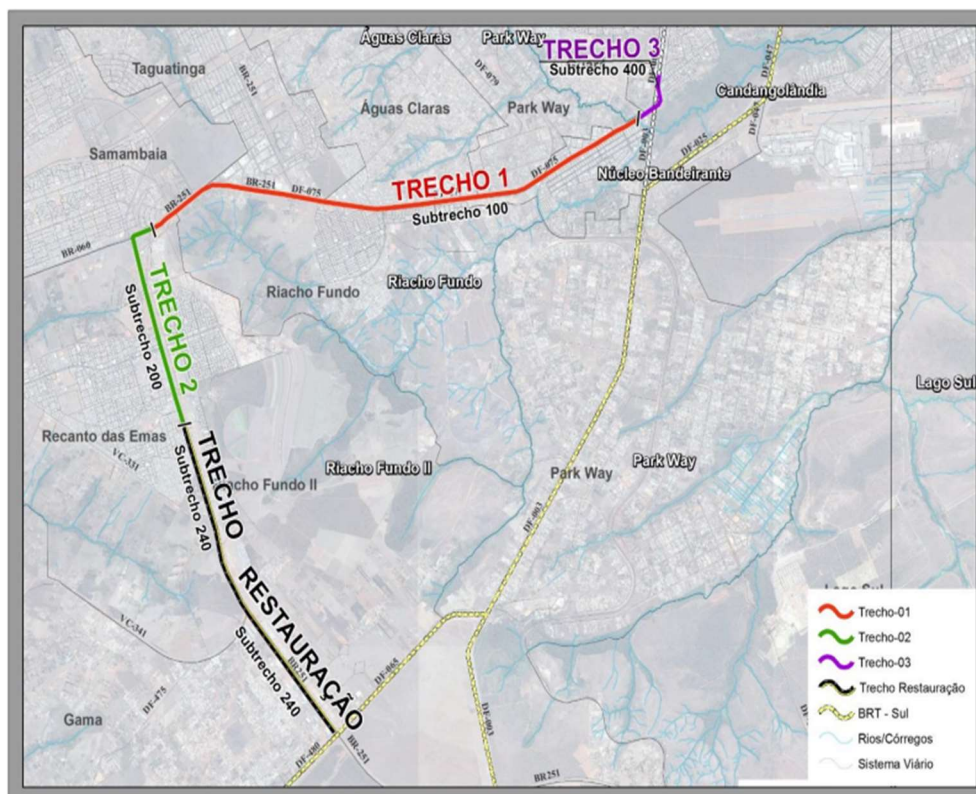
Camada	Material	Espessura
Subleito	Argila com pedregulho	-
Sub-base	Macadame seco	15 cm
Base	Brita graduada	15 cm
Revestimento	CAUQ	4 cm

Fonte: Autora

3.1.5. Projeto Brasília (DF)

Por fim, o último projeto selecionado para avaliação foi a adequação e conclusão de projeto básico e a elaboração de projeto executivo de engenharia entre as regiões do plano piloto de Brasília e cidades do entorno, mais especificamente nas Rodovias Distritais DF-001 e DF-075– corredor eixo sudoeste. De forma muito interessante foi segmentado em cinco distintos trechos, como mostra a figura 11. No entanto, para o presente documento serão usados apenas os segmentos que compreendem a BR 060 Samambaia – DF 075 (Riacho Fundo) e o trecho entre DF075 – DF 003 Núcleo Bandeirante, na imagem respectivamente os trechos dois e um. Dada essa escolha cabe mencionar que os valores de N, também são diferentes, enquanto trecho 2 tem N de $1,08 \times 10^8$, o trecho 1 obteve um valor de $N=6\ 8,43 \times 10^7$.

Figura 11 - Localização do projeto em Brasília (DF)



Fonte: VERZEGNASSI FILHO, 2020.

Assim como os demais projetos, foi apresentado no documento o estudo de tráfego realizado no percurso da via, bem como os resultados do estudo geotécnico, que resultaram em três possíveis dimensionamentos a serem adotados, mas para o presente trabalho será considerado apenas duas das alternativas apresentadas, sendo elas um pavimento flexível – CBUQ com polímero e base em BGS (tabela 7) e o outro com CBUQ sem polímero e base em BGS (tabela 8).

Tabela 7 - Pavimento flexível – CBUQ com polímero e base em BGS (Alternativa 1)

Camada	Material	Espessura
Subleito	Argila vermelha siltosa c/ pedregulho vermelho e argila vermelha.	-
Reforço	Incorporação de 3,0% Cimento em Massa. CBR $\geq$	18 cm

	20%. GC = 100%, Proctor Intermediário.	
Sub-base	Cascalho. CBR $\geq$ 40%	18 cm
Base	Brita Graduada Simples – BGS, GC = 100%, Proctor Modificado	18 cm
Imprimação	CM 30 - Taxa estimada de 1,2 l/m ² .	-
Revestimento	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85 Modificado por Polímero	5 cm
Pintura de Ligação	RR 2C – Taxa estimada de 0,6 l/m ² .	-
Revestimento	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85 Modificado por Polímero.	4 cm
Pintura de Ligação	RR 2C – Taxa estimada de 0,6 l/m ² .	-
Revestimento	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85 Modificado por Polímero.	4 cm

Fonte: Autora.

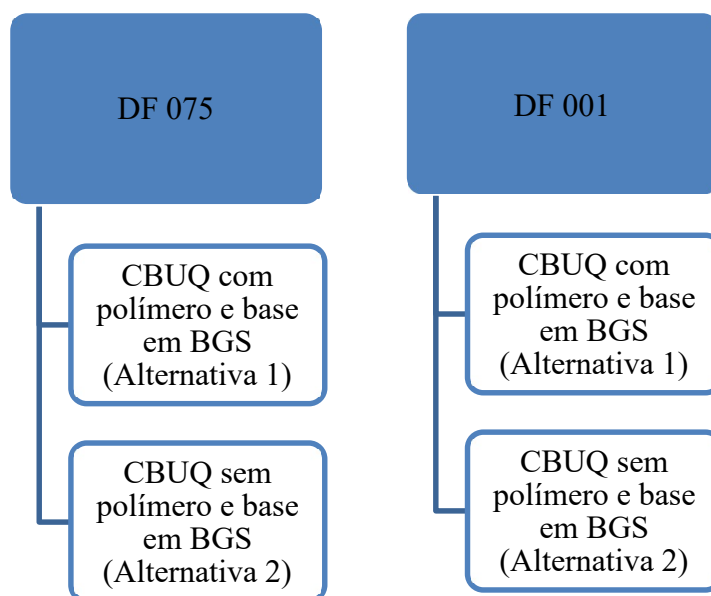
Tabela 8 - pavimento flexível – CBUQ sem polímero e base em BGS (Alternativa 2)

Camada	Material	Espessura
Subleito	Argila vermelha siltosa c/ pedregulho vermelho e argila vermelha.	-
Reforço	Incorporação de 3,0% Cimento em Massa. CBR $\geq$ 20%. GC = 100%, Proctor Intermediário.	18 cm
Sub-base	Cascalho. CBR $\geq$ 40%	18 cm
Base	Brita Graduada Simples – BGS, GC = 100%, Proctor Modificado	18 cm
Imprimação	CM 30 - Taxa estimada de 1,2 l/m ² .	-
Revestimento	(CBUQ) FAIXA B – CAP 30/45.	6 cm
Pintura de Ligação	RR 2C – Taxa estimada de 0,6 l/m ² .	-
Revestimento	(CBUQ) FAIXA C – CAP 30/45	5,5 cm
Pintura de Ligação	RR 2C – Taxa estimada de 0,6 l/m ² .	-
Revestimento	(CBUQ) FAIXA C – CAP 30/45.	5,5 cm

Fonte: Autora.

Diante do exposto para o projeto 5, optou-se por realizar quatro dimensionamentos de pavimentos, seguindo o diagrama a seguir (figura 12).

Figura 12 - Diagrama dos dimensionamentos propostos para o projeto de Brasília (DF)



Fonte: Autora.

Por conseguinte, assente nas informações coletadas nos projetos escolhidos, em conjunto com as adaptações realizadas será feito o dimensionamento dos pavimentos conforme o que está descrito nas tabelas previamente apresentadas no capítulo. Em seguida, os projetos que forem considerados subdimensionados serão refeitos com a finalidade de resistir de forma apropriada aos esforços do tráfego no local. Por fim, apresenta-se uma comparação entre os dois dimensionamentos apontando as possíveis causas de mudança na estrutura.

3.2. PREENCHIMENTO DOS DADOS DE TRÁFEGO

Para dar início a investigação do pavimento proposto em cada um dos projetos, foi necessário coletar os dados do estudo de tráfego. Embora todos os projetos escolhidos apresentem o valor de N calculado, o *software* MeDiNa não permite lançar o valor de N total diretamente. Assim, essas informações foram transcritas na aba homônima presente no *software* MeDiNa (figura 13).

Figura 13 – Dados do tráfego no programa MeDiNa

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
EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	

Fonte: MeDiNa, 2020.

Desse modo, em cada um dos projetos foi coletado:

- VMD 1º ano: o volume médio diário no ano de abertura;
- FV: o fator de veículo;
- % de veículo na faixa de projeto: percentual de veículos na faixa de tráfego de projeto, para o caso de pistas com mais de uma faixa de rolamento;
- Taxa de crescimento: taxa de crescimento do tráfego;
- Período de projeto: período de projeto para o dimensionamento do pavimento em anos (1 a 20).

No caso particular do fator de veículos (FV), que é um critério estabelecido a partir da configuração de eixos que os veículos possuem, baseado no quadro de fabricantes de veículos, documento da Coordenação Geral De Operações Rodoviárias - DNIT, foi preciso preencher todos os tipos de veículos observados no estudo de tráfego, bem como a porcentagem representativa dele na amostra de tráfego. Como exemplo, a figura 14, mostra o resumo do estudo de tráfego do projeto 5 e a figura 15 traz a forma de preenchimento da tabela FV em concordância com a normatização do DNIT.

Figura 14 – Contagem de tráfego projeto Brasília (DF)

CÁLCULO DOS FATORES DE VEÍCULO - USACE															
Rodovia:	DF 001 - EPCT														
Trecho:	ENTRº BR 060 (SAMAMBAIA) - ENTRº DF 075 (RIACHO FUNDO 1)														
Hipóteses:	1. % Veículos - Máx. Legal = 70%						2. % Veículos - Vazios = 20%			3. % Veículos - Máx. c/ Tol. = 10%					
Categoria	Tipo	Nº de Eixos	Configuração de Eixos				Volume Médio Diário	Distribuição (%)	Fator de Veículos - USACE						
			ESRS	ESRD	ETD	ETT			Individual			Total			
									Carregado	Vazio	Excesso	Carregado	Vazio	Excesso	
Ônibus	2CB	2	1	1	0	0	182	3,75	3,57	0,15	5,54	0,13	0,01	0,21	
	3CB	3	1	0	1	0	21	0,43	8,83	0,29	13,08	0,04	0,00	0,06	
	4CB	4	1	0	0	1	1	0,02	9,58	0,43	14,29	0,00	0,00	0,00	
Cam. Leves	2C	2	1	1	0	0	1902	39,19	3,57	0,15	5,54	1,40	0,06	2,17	
Cam. Médios	3C	3	1	0	1	0	1313	27,06	8,83	0,29	13,08	2,39	0,08	3,54	
Semi-Reboques	2S1	3	1	2	0	0	6	0,12	6,86	0,28	10,71	0,01	0,00	0,01	
	2S2	4	1	1	1	0	160	3,30	12,12	0,42	18,25	0,40	0,01	0,60	
	2S3	5	1	1	0	1	551	11,35	12,87	0,56	19,46	1,46	0,06	2,21	
	3S1	4	1	0	2	1	4	0,08	26,68	0,97	39,71	0,02	0,00	0,03	
	3S2	5	1	0	2	0	103	2,12	17,38	0,55	25,79	0,37	0,01	0,55	
	3S3	6	1	0	1	1	303	6,24	18,13	0,70	27,00	1,13	0,04	1,69	
	3S2S2	7	1	0	3	0	267	5,50	25,92	0,82	38,50	1,43	0,05	2,12	
	3S2C4	9	1	0	4	0	3	0,06	34,47	1,09	51,21	0,02	0,00	0,03	
	2I3	5	1	4	0	0	3	0,06	13,44	0,55	21,05	0,01	0,00	0,01	
	3I3	6	1	3	1	0	3	0,06	18,70	0,69	28,59	0,01	0,00	0,02	
	2I3	5	1	2	1	0	3	0,06	15,41	0,55	23,42	0,01	0,00	0,01	
	3I3	6	1	1	2	0	3	0,06	20,66	0,69	30,96	0,01	0,00	0,02	
Reboques	2C2	4	1	3	0	0	4	0,08	10,15	0,42	15,88	0,01	0,00	0,01	
	2C3	5	1	2	1	0	7	0,14	15,41	0,55	23,42	0,02	0,00	0,03	
	3C2	5	1	2	1	0	6	0,12	15,41	0,55	23,42	0,02	0,00	0,03	
	3C3	6	1	1	2	0	8	0,16	20,66	0,69	30,96	0,03	0,00	0,05	
Total							4853	100,00				8,93	0,33	13,41	
												FV - USACE			7,65

Fonte: VERZEGNASSI FILHO, 2020.

Figura 15 – Cálculo do fator de veículos (FV) no programa MeDiNa

MeDiNa - Cálculo do Fator de Veículo (DNIT)

EIXO	CONFIGURAÇÃO	RODAS	FATOR DE EIXO (%) (1º Ano)	CARGA (ton)	FATOR DE CARGA (FC)	FATOR DE VEÍCULO (FV)
1	Eixo Simples	2	3,8	6,00	0,278	0,011
2	Eixo simples de roda dupla	4	3,8	10,00	3,289	0,125
3	Eixo Simples	2	43,0	6,00	0,278	0,120
4	Dois eixos duplos	8	43,0	15,00	4,303	1,850
5	Eixo Simples	2	0,0	6,00	0,278	0,000
6	Eixo Simples	2	39,2	6,00	0,278	0,109
7	Eixo simples de roda dupla	4	39,2	10,00	3,289	1,289
8	Eixo Simples	2	27,1	6,00	0,278	0,075
9	Eixo Simples	2	0,1	6,00	0,278	0,000
10	Eixo simples de roda dupla	4	0,1	10,00	3,289	0,003
11	Eixo simples de roda dupla	4	0,1	10,00	3,289	0,003
12	Eixo Simples	2	3,3	6,00	0,278	0,009
13	Dois eixos duplos em tandem	8	3,3	17,00	8,549	0,282
14	Eixo simples de roda dupla	4	11,3	10,00	3,289	0,372
15	Eixo simples de roda dupla	4	0,1	10,00	3,289	0,003
16	Dois eixos duplos em tandem	8	0,1	17,00	8,549	0,009
17	Eixo Simples	2	2,1	6,00	0,278	0,006
18	Dois eixos duplos em tandem	8	2,1	17,00	8,549	0,180
19	Eixo Simples	2	6,2	6,00	0,278	0,017
20	Eixo simples de roda dupla	4	6,2	10,00	3,289	0,204
21	Três eixos duplos em tandem	12	6,2	25,50	9,300	0,577
22	Eixo Simples	2	5,5	6,00	0,278	0,015
23	Dois eixos duplos em tandem	8	5,5	17,00	8,549	0,430

F.V. (DNIT) = 7,651

Sair Transportar

Fonte: MeDiNa, 2020.

A partir do preenchimento de todos os dados mencionados, o *software* MeDiNa completa automaticamente as lacunas restante com o número de passagens anual do eixo padrão (N anual); o número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projetos (N anual da faixa) e o número equivalente total de passagens anual do eixo padrão na faixa de projetos (N total).

O procedimento descrito se repetiu seis vezes, uma para cada um dos quatro primeiros projetos e duas vezes para o projeto de número 5, pois este está segmentado em trechos distintos com contagem de veículos diferentes.

3.3. ADAPTAÇÃO DOS MATERIAIS

Como exposto anteriormente, a escassez de dados sobre os materiais que constituem as camadas do pavimento, sujeitou buscar referências na literatura, no entanto tais informações se mostraram insatisfatórias quanto a quantidade de incógnitas solicitadas pelo MeDiNa. Diante deste cenário, optou-se por se fazer uma compatibilização dos materiais presentes nas jazidas estudadas nos projetos selecionados, com os materiais disponíveis no banco de dados do MeDiNa.

A primeira adequação está no módulo de resiliência dos materiais preteridos no dimensionamento do pavimento. Nos projetos de pavimentação elegidos não foram avaliados pelos projetistas tais parâmetros. Assim, optou-se por usar os módulos de resiliências encontrados na literatura. Para isso, as tabelas 9 e 10 apontam os valores médios dos módulos, que tem como base Nascimento *et al.* (2006) e Bernucci *et al.* (2008).

Tabela 9 - Módulos de resiliência e resistência de misturas investigadas no país (25°C)

Características	Faixa (publicação)	MR (MPa)	RT (MPa)	MR/RT
Concreto asfáltico — CAP 30/45	Faixa C (Soares <i>et al.</i> , 2000)	3.628	1,09	3.346
Concreto asfáltico — CAP 50/60		3.033	0,89	3.425
Concreto asfáltico — CAP 85/100		1.488	0,44	3.376
Concreto asfáltico — CAP 30/45	Faixa B (Soares <i>et al.</i> , 2000)	5.105	0,82	6.201
Concreto asfáltico — CAP 50/60		4.425	0,73	6.062
Concreto asfáltico — CAP 85/100		1.654	0,21	7.755

Misturas densas (moldadas em usina)	Faixa C (Rede Asfalto, 2005)			
Concreto asfáltico 1		2.651	0,85	3.119
Concreto asfáltico 2		2.297	0,67	3.428
AAUQ1		1.825	0,52	3.510
AAUQ2		1.683	0,72	2.338
Misturas densas (moldadas em laboratório)	Faixa C (Rede Asfalto, 2005)			
Concreto asfáltico 1		3.609	1,26	2.864
Concreto asfáltico 2		3.026	1,23	2.460
AAUQ1		1.786	1,02	1.751
AAUQ2		1.682	0,81	2.077
SMA — 12,5mm	(Vasconcelos, 2004)	4.747	0,98	4.844
SMA — 9,5mm		3.367	0,82	4.106
Concreto asfáltico de referência	Faixa C (Lima, 2003)			
Com 0% fresado		3.200	1,20	2.667
Com 10% fresado		4.776	1,30	3.674
Com 30% fresado		7.524	1,30	5.787
Com 50% fresado		8.901	1,60	5.663
Concreto asfáltico de referência	Faixa C (Pinheiro, 2004)	3.647	0,97	3.760
Asfalto-borracha (úmido)		2.393	0,50	4.786
Agregado-borracha (seco)		2.452	0,80	3.065

Fonte: Bernucci, 2008.

Tabela 10 – Ensaio de módulo de resiliência

Tipo de Ligante	CAP 50/10	50-65	55-75	60-85	65-90
Média (Mpa)	9015	6822	5682	4966	5152

Temp.25°C – Aplicação da carga: 0,1 s – Repouso: 0,9 s

Normas: AASHTO TP-031/94 e ASTM D-4123

Fonte: Nascimento *et al.* 2006.

Em sequência outro critério que foi adequado são as curvas de fadiga e os modelos de deformação permanente, estes usados para avaliar a ruptura do pavimento. Embora o enfoque principal da pesquisa não seja as patologias que um pavimento flexível possa apresentar, esse dado é importante para o *software* MeDiNa avaliar de forma mais satisfatória o desempenho do pavimento.

Além das limitações já expressas, outro obstáculo implantado pelo programa MeDiNa diz respeito à restrição de medida mínima e máxima de espessura que cada camada adicionada pode ter, tendo como base o material constituinte, como mostra a tabela 11.

Tabela 11 - Espessuras permitidas de acordo com o material da camada

MATERIAL	ESPESSURAS PERMITIDAS (CM)
Materiais Asfálticos	5 – 15
Materiais estabilizados	15 – 25
Materiais granulares	10 – 40
Tratamentos superficiais	1,5 – 3,0

Fonte: Manual MeDiNa, 2020.

Em alguns dos casos estudados, a estrutura não se adequou a medida limite do programa, como é o exemplo das camadas de revestimento asfáltico dupla, contendo CBUQ Faixa ‘C’ e outra de CBUQ Faixa ‘B’ (binder), nas quais as espessuras determinadas pelos projetistas são inferiores a 5 cm, ou então, nas camadas em que material possui uma dimensão de projeto maior do que a aceita pelo programa. A fim de solucionar tais intercorrências, ficou definido que, para o primeiro empecilho que será somada as duas camadas de revestimento e usado o material

com o menor módulo de resiliência entre elas, e por sua vez, para o segundo problema foi adotada a medida de espessura mais próxima da definida em projeto.

Portanto, a compatibilização de materiais usados no dimensionamento se deu como mostra a tabela 12.

Tabela 12 – Compatibilização de materiais

MATERIAL DE PROJETO	MATERIAL MEDINA	
	CAMADA	MATERIAL
CBUQ faixa C CAUQ CAP 50/70	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 50/70 #12,5mm Sepetiba
CBUQ Binder faixa B	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	Classe 2
(CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85 Modificado por Polímero.	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	RJ CAPFLEX 65/90 SBS PG 70-22
CBUQ	CONCRETO ASFÁLTICO	Classe 1
CBUQ FAIXA C – CAP 30/45.	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 30/45 #19,1mm Sepetiba
ARGILA ARENOSA SILTOSA AMARELA saibro	SUBLEITO	Solo Silto NS'
AREÃO SILTOSO VARIEGADO	SUBLEITO	Solo Fino NA
Macadame hidráulico	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaisse C1
MACADAME SECO	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo LG' (s:1521)
Brita graduada	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaisse C4
Brita Graduada Simples – BGS, GC = 100%, Proctor Modificado	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaisse C5
Cascalho. CBR $\geq$ 40%	MATERIAL GRANULAR	Solo Brita - M3 (LG' s:1521)
Incorporação de 3,0% Cimento em Massa. CBR $\geq$	SOLO CIMENTO	Ceratti, 1991 (mistura 3)

20%. GC = 100%, Proctor Intermediário.		
Solo estabilizado granulometricamente	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Areno-argiloso LG'(2)
Solo melhorado com cimento 3% e brita 20%	BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC)	Balbo, 1993 c: 80 kg/m ³

Fonte: Autora.

Notoriamente, a falta de ensaios que forneceriam fundamentos exatos sobre cada um dos materiais torna a análise do pavimento mais complicada, como lembra Pitangui (2019), para a autora o método MeDiNa moldará um novo comportamento nos projetistas, pois as informações que são requeridas necessitam de muitos ensaios e estudos a respeito dos materiais.

3.4. CRITÉRIOS AVALIADOS

Como já elucidado no início do capítulo, a análise dos pavimentos seguiu a seguinte ordem: análise da estrutura proposta em projeto, verificar se atende às boas condições de uso, caso não atendesse foi feito um novo dimensionamento. Assim, torna-se necessário explicar quais critérios foram considerados para definir quais projetos precisavam ser redimensionados.

O primeiro tópico observado foi o resultado de área trincada ao fim do período de projeto, para determinar se atenderia as condições de uso ficou determinado que tal área não deveria exceder 30%, com base na tabela 13. Além disso, outro parâmetro considerado foi a deformação permanente, que está ligado intrinsecamente ao tipo de via estudada.

Tabela 13 – Critérios e confiabilidade de cada tipo de via

Tipo de via	Confiabilidade	Área Trincada	Def. permanente
Sistema arterial principal	95%	30%	10 mm
Sistema arterial primário	85%	30%	13 mm
Sistema arterial secundário	75%	30%	20 mm
Sistema coletor primário	85%	30%	13 mm
Sistema coletor secundário	75%	30%	20 mm
Sistema local	65%	30%	20 mm

Fonte: Manual MeDiNa, 2020.

Ademais, o *software* emite alertas quando não conseguiu dimensionar o pavimento ou depois de avaliação da estrutura. Isso mesmo quando a área trincada ou a deformação permanente estão satisfatórios. Desse modo o manual de uso do programa mostra por meio da tabela 14 os avisos que podem ocorrer e a sugestão para solucionar o problema.

Tabela 14 – Alertas e sugestões para resolver os motivos encontrados

Alerta	Sugestão
A espessura atingiu o máximo permitido para a análise (15 cm para as camadas asfálticas, 25 cm para as estabilizadas e 40 cm para as demais)	A estrutura precisa ser mais robusta Inclua uma camada a mais na estrutura, preferencialmente asfáltica ou estabilizada
A camada apresentou deformação permanente acima do limite de 5%	O material da camada não possui bom comportamento à deformação permanente Substitua o material da camada, ou altere a sua espessura, ou inclua outra camada acima com outro material
O subleito apresentou deformação permanente acima do limite de 5 mm	O material do subleito não possui bom comportamento à deformação permanente
A camada de suporte da camada estabilizada possui uma deflexão superior a 70 (0,01mm)	O material da camada que suporta a camada estabilizada não possui boa qualidade Inclua uma camada nova de melhor qualidade para melhorar o suporte da camada estabilizada
Módulo da camada estabilizada decaiu rapidamente em um período	O programa MeDiNa tenta solucionar o problema no dimensionamento ocorre por conta da fadiga elevada do material estabilizado
Tráfego elevado para a estrutura proposta	O programa MeDiNa tenta solucionar o problema no dimensionamento ocorre por conta da fadiga elevada do material asfáltico

Fonte: Manual MeDiNa, 2020.

Desse modo se estabelece como referência de análise da estrutura do pavimento o percentual de área trincada ao fim do período de projeto e a deformação permanente observada após a análise do esquema proposto em projeto.

4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Como resultado da metodologia adotada e através da modelagem de dados no programa MeDiNa será apresentado os produtos do dimensionamento empírico mecanístico de pavimentos, bem como as discussões provenientes deles.

4.1. PROJETO PLANALTO DA SERRA E NOVA UBIRATÃ (MT)

O projeto da rodovia MT 140, no trecho que corta as cidades de Planalto da Serra e Nova Ubiratã retornou a análise do pavimento feito no *software* MeDiNa da seguinte forma, como mostra a figura 16. A área trincada do pavimento ao fim dos 15 anos de vida útil do projeto foi de 61%, resultado duas vezes maior que o parâmetro considerado. Além disso, o tráfego inserido no dimensionamento, proveniente do estudo de tráfego presente no projeto, foi considerado alto para a estrutura dimensionada. Ademais, o afundamento de trilha de roda foi de 2,8mm. Assim sendo, foi preciso fazer uma nova análise da perspectiva de melhoria da estrutura do pavimento.

Figura 16 - Análise com o dimensionamento DNIT projeto Planalto da Serra e Nova Ubiratã (MT)

```

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
Seção do pavimento analisada 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: 61,0%
>>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada.
Afundamento de Trilha de Roda: 2,8mm

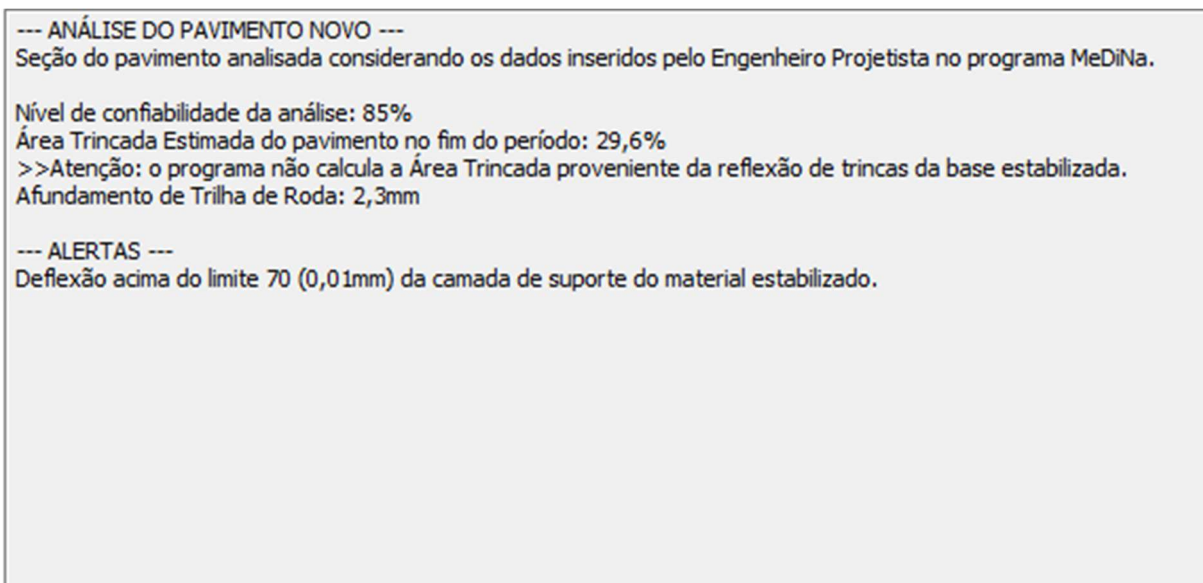
--- ALERTAS ---
Tráfego elevado para a estrutura proposta.
Deflexão acima do limite 70 (0,01mm) da camada de suporte do material estabilizado.

```

Fonte: Autora.

Após a alteração da espessura das dimensões foi possível conceber uma nova análise (figura 17) do pavimento, onde a área trincada diminuiu de 61 para 29,6%, enquanto o afundamento de trilha de roda diminuiu 0,5mm passando de 2,8 para 2,3 mm.

Figura 17 - Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Planalto da Serra e Nova Ubitatã (MT)



Fonte: Autora.

Dessa forma, pela nova configuração do pavimento se enquadrar nos critérios de boas condições de uso estabelecido, a nova estrutura passa a ser como mostra a tabela 15.

Tabela 15 – Comparação entre as espessuras das camadas do projeto Planalto da Serra e Nova Ubitatã (MT)

Camada	Espessura DNIT (cm)	Espessura MeDiNa (cm)
Revestimento	5	8,5
	8,5	8,5
Base	18	18
Sub-base	20	20

Fonte: Autora

4.2. PROJETO 2 PONTÃO (RS)

Os dados de projeto inseridos no programa regressaram uma análise onde as seções do pavimento sofreram com 11,8% de área trincada ao final de 10 anos de uso e o afundamento da trilha de roda foi de 4,8 mm (figura 18). Por não ter obtido resultados comprometedores quanto aos danos que o tráfego causou no pavimento foi realizado um novo dimensionamento com o intuito de verificar a análise no caso de se usar a espessura mínima da capa asfáltica (figura 19).

Figura 18 - Análise com o dimensionamento DNIT projeto Pontão (RS)

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
 Seção do pavimento analisada 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: 11,8%
 Afundamento de Trilha de Roda: 4,8mm

Fonte: Autora.

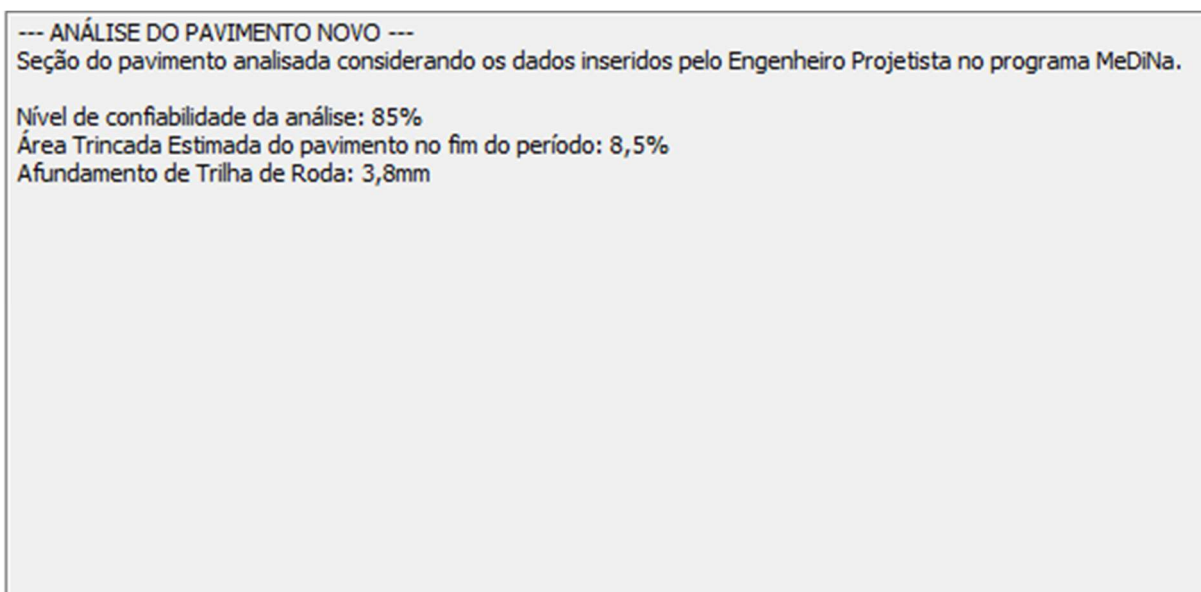
Figura 19 - Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Pontão (RS)

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
 Seção do pavimento analisada 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: 14,6%
 Afundamento de Trilha de Roda: 5,4mm

Fonte: Autora.

Como exposto na tabela 16, a mudança de 7 para 5 cm na camada mais exterior do pavimento impactou na área trincada e no afundamento, que passaram, respectivamente de, 11,8% para 14,6% e de 4,8 mm para 5,4 mm. A fim de verificar se ocorreria grande mudança na análise do pavimento ao usar um revestimento asfáltico de 10 cm foi possível ver que a área com trincas diminuiu para 8,5% em 10 anos, enquanto a deterioração de trilha de roda caiu para apenas 3,8 mm, como mostra a figura 20.

Figura 20 - Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Pontão (RS)



Fonte: Autora.

Tabela 16 – Comparação entre as espessuras das camadas do projeto Pontão (RS)

Camada	Espessura DNIT (cm)	Espessura MeDiNa (cm)	Espessura MeDiNa (cm)
Revestimento	7	5	10
Base	15	15	15
Sub-base	15	15	15

Fonte: Autora

4.3. PROJETO JABORANDI E COCOS (BA)

A análise do dimensionamento proposto para a BR 135, trecho entre Cocos e Jaborandi, mostrou uma área trincada de 42,4% após o fim do período de projeto, ou seja 12,4% superior aos 30% ideais (figura 21). Além disso, a investigação aponta para um afundamento do trilho de roda de 6,8mm. Com esses resultados foi proposto um novo dimensionamento, figura 22, onde a área trincada do pavimento no fim do período passou a ser de 28,4%, por sua vez a deterioração por trilha de roda diminuiu para 5,1 mm. Ainda assim, a deflexão se mostrou acima de 0,01 mm na camada de suporte do material estabilizado.

Figura 21 - Análise com o dimensionamento DNIT projeto Jaborandi e Cocos (BA)

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
 Seção do pavimento analisada 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: 42,4%
 >>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada.
 Afundamento de Trilha de Roda: 6,8mm

--- ALERTAS ---
 Tráfego elevado para a estrutura proposta.
 Deflexão acima do limite 70 (0,01mm) da camada de suporte do material estabilizado.

Fonte: Autora.

Figura 22 - Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Jaborandi e Cocos (BA)

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
 Seção do pavimento analisada 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: 28,4%
 >>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada.
 Afundamento de Trilha de Roda: 5,1mm

--- ALERTAS ---
 Deflexão acima do limite 70 (0,01mm) da camada de suporte do material estabilizado.

Fonte: Autora.

Assim sendo, o dimensionamento proposto para a BR 135 é o demonstrada na tabela 17, a seguir.

Tabela 17 – Comparação entre as espessuras das camadas do projeto Jaborandi e Cocos (BA)

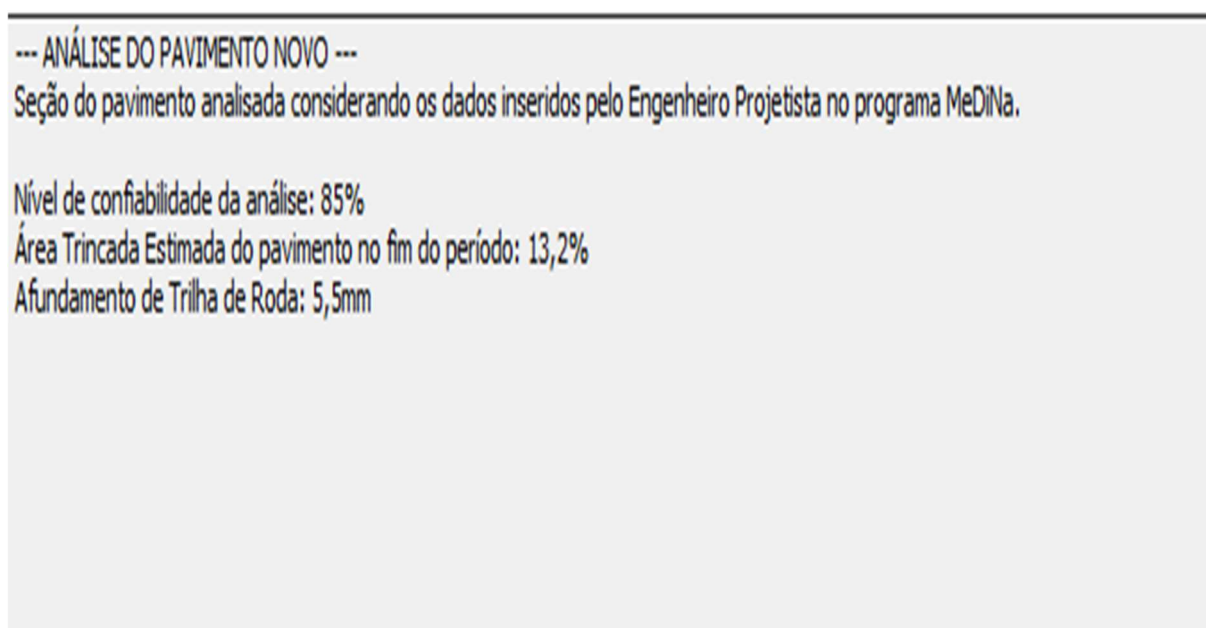
Camada	Espessura de projeto (cm)	Espessura nova (cm)
Revestimento	9	11,8
Base	15	15
Sub-base	15	15

Fonte: Autora.

4.4. PROJETO 4 CANOINHAS (SC)

O quarto dimensionamento avaliado é de uma rua menos movimentada que as dos demais projetos, assim, o dimensionamento proposto pelo projetista foi considerado suficiente pelo dimensionamento empírico-mecanístico. Como mostra figura 23, o pavimento teve uma área de trincas igual a 13,2% após 10 anos de período de projeto e um afundamento de roda de 5,5 mm, o pavimento obteve bons resultados ao tráfego que o exigia. Portanto, não foi sugerido uma nova estrutura.

Figura 23 - Análise com o dimensionamento DNIT projeto Canoinhas (SC)



Fonte: Autora.

4.5. PROJETO 5 – BRASÍLIA (DF)

Como explicado no item 3.1.5, este projeto foi dividido em dois trechos com dados de tráfego distintos. Além disso, no projeto foram propostas três soluções para pavimentação, dois de pavimento flexível e o terceiro de pavimento semi-rígido. Desse modo, foram realizadas quatro verificações de dimensionamento.

4.5.1. DF 075 - Alternativa 1

O primeiro trecho analisado com a alternativa 1 alcançou a marca de 99% de área trincada após o fim do período de projeto. Além disso, os dados retornados pelo programa

MeDiNa foram surpreendentes (figura 24), obtendo 5,3mm de afundamento de trilha de roda e um alerta de tráfego elevado para o pavimento proposto.

Figura 24 - Análise com o dimensionamento DNIT projeto Brasília DF 075 (Alternativa 1)

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
Seção do pavimento analisada 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: 99,0%
>>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada.
Afundamento de Trilha de Roda: 5,3mm

--- ALERTAS ---
Tráfego elevado para a estrutura proposta.
Deflexão acima do limite 70 (0,01mm) da camada de suporte do material estabilizado.

Fonte: Autora.

Dado os resultados da figura 24, foi necessária uma nova proposta de dimensionamento (figura 25), que atingiu 25,5% de área com trincas, enquanto a medida degradada por afundamento passou a 2,8 mm. Ainda assim, a camada de suporte teve uma deflexão acima de 70.

Figura 25 - Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Brasília DF 075 (Alternativa 1)

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
Seção do pavimento analisada 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: 25,5%
>>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada.
Afundamento de Trilha de Roda: 2,8mm

--- ALERTAS ---
Deflexão acima do limite 70 (0,01mm) da camada de suporte do material estabilizado.

Fonte: Autora.

Dessa maneira, dada as boas condições adquiridas a estrutura do pavimento se tonou como mostra a tabela 18, abaixo.

Tabela 18- Comparação entre as espessuras das camadas do projeto Brasília DF 075 (Alternativa 1)

Camada	Espessura de projeto (cm)	Espessura nova (cm)
Revestimento	5	13,8
	5	5
	5	5
Base	18	15
Sub-base	15	10
Reforço	20	20

Fonte: Autora.

4.5.2. DF 075 - Alternativa 2

Examinando o mesmo segmento, com uma proposição distinta de estrutura, ainda sim a superfície trincada chegou a surpreendentes 99%. Contudo, ao contrário da análise anterior, este pavimento alcançou 2,7 mm de afundamento de roda como exibi a figura 26.

Figura 26 - Análise com o dimensionamento DNIT projeto Brasília DF 075 (Alternativa 2)

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO --- Seção do pavimento analisada 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: 99,0% >>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada. Afundamento de Trilha de Roda: 2,7mm --- ALERTAS --- Tráfego elevado para a estrutura proposta. Deflexão acima do limite 70 (0,01mm) da camada de suporte do material estabilizado.
--

Fonte: Autora.

Ao propor um novo dimensionamento (tabela 19), há uma diminuição significativa na porção afetada por trincas, que decai de 99% para 26,5%, como expõem a figura 27. Além disso, o afundamento da trilha de roda reduz a metade.

Figura 27 - Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Brasília DF 075 (Alternativa 1)

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO --- Seção do pavimento analisada 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: 26,5% >>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada. Afundamento de Trilha de Roda: 1,4mm --- ALERTAS --- Deflexão acima do limite 70 (0,01mm) da camada de suporte do material estabilizado.
--

Fonte: Autora.

Tabela 19 - Comparação entre as espessuras das camadas do projeto Brasília DF 075 (Alternativa 2)

Camada	Espessura de projeto (cm)	Espessura nova (cm)
Revestimento	5,5	12,3
	5,5	5
	6	6
Base	18	15
Sub-base	15	10
Reforço	20	20

Fonte: Autora.

4.5.3. DF 001 - Alternativa 1

Em seguimento, no mesmo projeto o segundo trecho analisado aferiu novamente uma área trincada muito elevada, bem como um tráfego muito pesado para o pavimento proposto. Além disso, como exhibe a figura 28, a análise do pavimento mostrou um afundamento de trilha de roda igual a 5,5 mm.

Figura 28 - Análise com o dimensionamento DNIT projeto Brasília DF 001 (Alternativa 1)

```

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
Seção do pavimento analisada 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: 99,0%
>>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada.
Afundamento de Trilha de Roda: 5,5mm

--- ALERTAS ---
Tráfego elevado para a estrutura proposta.
Módulo da camada estabilizada decaiu rapidamente em um período.
Deflexão acima do limite 70 (0,01mm) da camada de suporte do material estabilizado.

```

Fonte: Autora.

A fim de melhores resultados foi proposto um novo dimensionamento (tabela 20), no qual a verificação feita pelo *software* MeDiNa, regressou às seguintes respostas contidas na figura 29: área com trincas no pavimento após o fim do período de projeto estimada em 24,1% e um afundamento de trilha de roda de 2,7 mm. No entanto, há uma deflexão na camada de suporte do material estabilizado acima de 70.

Figura 29 - Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Brasília DF 001 (Alternativa 1)

```

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
Seção do pavimento analisada 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: 24,1%
>>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada.
Afundamento de Trilha de Roda: 2,7mm

--- ALERTAS ---
Deflexão acima do limite 70 (0,01mm) da camada de suporte do material estabilizado.

```

Fonte: Autora.

Tabela 20 - Comparação entre as espessuras das camadas do projeto Brasília DF 001 (Alternativa 1)

Camada	Espessura de projeto (cm)	Espessura nova (cm)
Revestimento	5	10
	5	6,5
	5	10
Base	18	17,5
Sub-base	15	15
Reforço	20	15

Fonte: Autora.

4.5.4. DF 001 - Alternativa 2

Novamente, com os mesmos dados de tráfego, alterando apenas a estrutura do pavimento, o mesmo trecho foi considerado subdimensionado, como mostra os resultados na figura 30, isto é, obteve 99% de área de trincada e um tráfego considerado elevado para a estrutura proposta. Apesar disso, a deterioração por rodas foi baixa com 2,8 mm.

Figura 30- Análise com o dimensionamento DNIT projeto Brasília DF 001 (Alternativa 2)

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO --- Seção do pavimento analisada 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: 99,0% >>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada. Afundamento de Trilha de Roda: 2,8mm --- ALERTAS --- Tráfego elevado para a estrutura proposta. Deflexão acima do limite 70 (0,01mm) da camada de suporte do material estabilizado.
--

Fonte: Autora.

Com a intenção de melhorar o desempenho da estrutura foi feito um novo dimensionamento, exposto na tabela 21, onde a área que apresenta trincas caiu para 28,5%, enquanto a afundamento reduziu pela metade (figura 31).

Figura 31 - Análise com o dimensionamento MeDiNa projeto Brasília DF 001 (Alternativa 2)

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO --- Seção do pavimento analisada 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: 28,5% >>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada. Afundamento de Trilha de Roda: 1,4mm --- ALERTAS --- Deflexão acima do limite 70 (0,01mm) da camada de suporte do material estabilizado.
--

Fonte: Autora.

Tabela 21 - Comparação entre as espessuras das camadas do projeto Brasília DF 001 (Alternativa 2)

Camada	Espessura de projeto (cm)	Espessura nova (cm)
Revestimento	5,5	13,8
	5,5	5,5
	6	6
Base	18	15
Sub-base	15	10
Reforço	20	18

Fonte: Autora.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que se refere ao dimensionamento de pavimentos flexíveis por meio do método DNIT, foi possível observar que os preceitos considerados quanto aos critérios de desempenho dele em relação a fadiga são nulos, uma vez que não usa nenhum tipo de previsão de danos ao longo do período de projeto.

Em contrapartida, o método de dimensionamento MeDiNa, ao considerar a deformação permanente e a fadiga de matérias primas em uso em obras no território nacional, demonstra o contínuo aprimoramento na avaliação de desempenho de pavimentos flexíveis, de outra forma, o MeDiNa articula conhecimento empírico e comportamento da estrutura quando solicitada.

Diante desta conjuntura, fica mais explícito as causas da diferença encontrada entre os dois tipos de dimensionamento. De fato, em boa parte das avaliações propostas, os materiais

escolhidos por meio de compatibilização não correspondem terminantemente ao utilizado em projeto. Ainda assim, representa uma boa estimativa para as análises propostas.

Em três dos cinco projetos avaliados no programa retornaram um prognóstico preocupante quanto as áreas que apresentam trincas, isto é, os danos por fadiga são muito elevados, embora na maioria dos projetos a deformação permanente se manteve baixa em relação ao parâmetro estabelecido. É provável que tais resultados se deram pelo fato do dimensionamento empírico não prever danos por fadiga.

Existem justificativas para que isso tenha ocorrido, uma delas pode ser a condição de aderência entre camadas, visto que, elas se apresentam pré-estabelecidas no programa, onde as camadas de material asfáltico são consideradas aderidas entre si, os demais materiais são considerados não aderidos. Essa premissa acarreta diretamente na conclusão de que a interação entre as camadas não contribui para o bom desempenho da estrutura. Para determinar o real impacto disso na análise seriam necessários realizar ensaios que considerassem o modelo real de estrutura executada em campo, onde as camadas estão aderidas entre si. Além disso, dentre os projetos escolhidos há os que realizaram camadas de imprimação entre a base e a capa asfáltica, fator que não pode ser considerado no MeDiNa.

Apesar de existir divergência em relação às dadas informações, o MeDiNa pode vir a apresentar estruturas superdimensionadas, por pedir espessuras elevadas, por vezes maiores do que o necessário. Também, a difusão do método MeDiNa como padrão de dimensionamento de pavimentos no Brasil exigirá adequação no que diz respeito a coleta das informações necessárias para alimentar a base de dados dos materiais, principalmente em relação a realização dos ensaios DNIT 183/2018-ME e DNIT 179/2018-IE, para determinar respectivamente a curva de fadiga e a deformação permanente. Outro cenário a se considerar neste momento de escolha do método a ser utilizado, é a questão da viabilidade econômica, pois os projetos de pavimentação estão subordinados a orçamentos ajustados e a substituição de um método pelo outro requer uma quantidade de ensaios superior, o que está ligado diretamente a maiores despesas financeiras.

Assim sendo, além das considerações já feitas, para posteriores pesquisas sugere-se, ensaiar os materiais que irão compor a estrutura do pavimento conforme as recomendações do manual MeDiNa, para obter resultados mais precisos sobre as características do material e assim ter um cálculo mais acurado de trincas e dos afundamentos de trilha de roda.

REFERÊNCIAS

- AGETOP – Agencia Goiana de Transportes e Obras Públicas. **Manual de pavimentação urbana**. Goiânia: PR-NEPRO-GEPRE-TEC, 2016. 60 f.
- BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 560 p.
- BALBO, J. T.. High Quality Cement Treated Crushed Stones for Concrete Pavement Bases. In: Purdue Conference on Concrete Pavement, 6., 1997, Indianapolis, U.S.A. **Anais [...]**. Indianapolis, 1997.
- BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras ABEDA, 2010. 475 p.
- BIEDACHA, M. M. **Dimensionamento de pavimento asfáltico pelo método DNER e comparativo com o atual método mecanístico-empírico MeDiNa**. 2020. 132 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020.
- BRAGA, C. W. C. **Dimensionamento de pavimento flexível**: aplicação de materiais como camadas de pavimento pelo método empírico de dimensionamento do DNIT. 2018. 105 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, 2018.
- CHIARELLO, G. P. *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 Transporte da ANPET, 33. 2019, Balneário Camboriú. **Anais [...]**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2019. Disponível em: COMO PREPARAR UM TRABALHO PARA APRESENTAÇÃO (anpet.org.br). Acesso em: 03 mai 2022.
- COSTA, B. R. **Avaliação da implantação do dimensionamento de pavimentos flexíveis pelo método MeDiNa no contexto brasileiro**. 2021. 164 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.
- COUTINHO, J. C. P. **Dimensionamento de pavimento asfáltico**: comparação do método do DNER com um método mecanístico-empírico aplicado a um trecho. 2011. 214p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 274 p.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de ajuda Programa MeDiNa**. [S.l.]: DNIT, 2020. 38 p.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **ANTEPROJETO DE ENGENHARIA PARA MELHORAMENTOS EM RODOVIA, ADEQUAÇÃO DA CAPACIDADE E SEGURANÇA**. Jaborandi, 2015. 186 p.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **COORDENAÇÃO GERAL DE OPERAÇÕES RODOVIÁRIAS: QUADRO DE FABRICANTES DE VEÍCULOS.** 2006. 161 p. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviarias/pesagem/QFV2012ABRIL.pdf>. Acesso em: 07 set. 2022.

VERZEGNASSI FILHO, A. **Relatório do Projeto de Pavimentação:** adequação e conclusão de projeto básico e a elaboração de projeto executivo de engenharia e eia/rima :: pba::s, destinado à implantação do sistema de transporte coletivo de passageiros entre as cidades de recanto das emas (i e ii), riacho fundo i e ii, samambaia, taguatinga, núcleo bandeirante e o plano piloto, nas rodovias distritais df-001 (epct) e df-075 (epnb) :: corredor eixo sudoeste.. 2. ed. Brasília: Aria, 2020. 41 p.

FERNANDES, P. G. P. S. *et al.* Estudo comparativo dos métodos empírico do DNER e mecanístico-empírico pelo SISPAV aplicado à rodovia BR-316. *In: Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET*, 31. 2017, Recife. **Anais [...]. [S.l.]: Universidade Federal de Alagoas Centro de Tecnologia**, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335843256_Estudo_Comparativo_dos_Metodos_Empirico_do_DNER_e_Mecanistico-empirico_pelo_Sispav_aplicado_a_Rodovia_BR-316. Acesso em: 30 jun 2022

FRANCO, F. A. C. P. **Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav.** 2007. 294 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

FRANCO, F. A. C. P.; MOTTA, L. M. G. **Execução de estudos e pesquisa para elaboração de método de análise mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos:** Manual para utilização do Método Mecanístico-Empírico MeDiNa: Apresentação dos programas. 2020. 78 f. Rio de Janeiro: COPPE/IPR, 2020.

GUEDES, L. M. Determinação do índice de gravidade global (IGG) de trecho reconstruído da rodovia PB- 111. 2016. 65 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2016.

KNABBEN, R. O. *et al.* **PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO:** memorial descritivo de atividades. Canoinhas: Ktop, 2013. 37 p.

LAUBE, A. G.; BATISTA, M.; LEITE, P. C. **Estudo comparativo no dimensionamento do pavimento flexível através do método DNER e do método MEDINA.** 2021. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário UNISOCIESC, Joinville, 2021.

MAIA, I. M. C. **Caraterização de patologias em pavimentos rodoviários.** 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.

MORAIS, V. A. **Análise comparativa dos métodos de dimensionamento empírico e empírico-mecanístico de pavimentos flexíveis.** 2014. 128 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete- RS, 2014.

NASCIMENTO, L.; LEITE, L.; CAMPOS, E.F.; MARQUES, G.; MOTTA, L. Uso da tomografia computadorizada e de imagens digitais para o estudo de misturas asfálticas. In: ENCONTRO DO ASFALTO, 18., 2006, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: IBP, 2006.

NEPOMUCENO, D. V. **Avaliação em campo de estrutura de pavimento incorporando solo estabilizado com escória KR sujeita à carregamento com simulador HVS e comparação com previsões de desempenho segundo o novo método brasileiro de dimensionamento MeDiNa.** 2019. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.

PITANGUI, L. C. **Análise comparativa do método do DNER com o método mecanístico-empírico MeDiNa.** 2019. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PONTÃO (org.). **PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA:** estrada fazenda anonni. Pontão, 2016. 44 p.

PREGO, A. S. S. **A memória da Pavimentação no Brasil.** 1. ed. Rio de Janeiro: ABPv, 2001. 640 p.

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

SILVA, Daniel Cardoso da; BARBOSA, Diego Souza. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O NOVO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO NACIONAL DE PAVIMENTOS – MEDINA E O MÉTODO DO DNER.** 2021. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2021.

SILVA, J. E. G. **Método nacional de dimensionamento de pavimentos-MeDiNa, avaliação da duplicação da AL-145.** 2018. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gonçalves, 2018.

SINFRA-Secretária de Estado de Infraestrutura e Logística. **PROJETO EXECUTIVO DE IMPLANTAÇÃO E PAVIMENTAÇÃO:** rodovia: mt-140 trecho: entr. mt-020 (planalto da serra/mt) ∴ entr. br 242 (nova ubiratã/mt). Planalto da Serra: Sinfra, 2020. 187 p.