

COMPARATIVO DE DIMENSIONAMENTOS DE PAVIMENTOS PELO MÉTODO MEDINA E PELO MÉTODO SEMIEMPÍRICO¹

Arthur Soler Pereira Calças – arthur_calças@hotmail.com

Felipe Freitas Guastelli – fefreitas97@hotmail.com

Matheus Farias Machado – matheusfmac@gmail.com

Eric Ribeiro da Silva (Orientador) – eric.silva@mackenzie.br

RESUMO

O presente estudo apresenta uma comparação entre dois métodos de dimensionamento de pavimentos, iniciando pelo semiempírico com DNER/DNIT, com estudo mecanicista pelo MnLayer e o método mecanicista MEDINA. Foram dimensionados trechos com diferentes características de suporte e tráfego, adotando a melhor alternativa entre estruturas de pavimentos flexíveis e semirrígidos. A partir dos resultados obtidos, as principais diferenças e limitações dos métodos foram analisadas. Foram observadas diferenças significativas nas espessuras das camadas das estruturas dimensionadas por ambos os métodos. Além disso o evidencia-se que o dimensionamento de estruturas pelo método mecanicista-empírico se mostrou mais conservador que o método mecanicista MEDINA.

Palavras-chave: dimensionamento; pavimentos; MEDINA; semiempírico; mecanicista-empírica.

COMPARISON BETWEEN THE MEDINA PAVEMENT DESIGN METHOD AND THE SEMIEMPIRICAL METHOD

ABSTRACT

The present study presents a comparison between two pavement design methods, starting with the DNER/DNIT semiempirical method with a mechanist study on MnLayer and the mechanist method MEDINA. Sections were designed with different support and traffic characteristics, choosing the best alternative between flexible and semi-rigid pavement structures. From the results obtained, the main differences and limitations between the methods were analyzed. Relevant differences were observed in the layer thickness of the structures designed by both methods. They also present evidence that the mechanist-empirical design method is more conservative than the mechanist MEDINA method.

Keywords: design; pavement; MEDINA; semiempirical; mechanist-empirical.

¹ Artigo do Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Civil, EE, UPM, São Paulo, 2021.

1 INTRODUÇÃO

O registro da pavimentação no país começa com a ligação São Paulo-Santos, utilizando técnicas romanas de construção, porém o investimento rodoviário no Brasil começa a mudar a partir do século XX, com a construção do Caminho do Mar, a primeira rodovia que empregou na maioria de sua extensão misturas asfálticas (BALBO, 2007).

A partir deste marco, inicia-se o crescimento da pavimentação no país, documentado por Balbo (2007), conforme apresentado a seguir:

- Em 1956, começa o plano de pavimentação de rodovias paulistas, seguido pela criação de uma comissão técnica no Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER).
- No final dos anos 1960, surgem programas de pós-graduação focados na Engenharia Civil, iniciando o desenvolvimento do estudo acadêmico científico na área da pavimentação.
- Na década de 1980, o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) começa a aparelhar os ensaios de resiliência já estudados por Jean Jacques de Medina, pesquisador.
- Por volta dos anos 1990, os governos federais e estaduais passaram a adotar um processo de conservação, operação e manutenção das rodovias por meio de concessões.

Desde então, o modal rodoviário tem crescido e hoje é o mais utilizado na matriz de transporte brasileiro, incorporando cerca de 61% da movimentação de mercadorias no país e 95% da movimentação de passageiros (CNT, 2019). Tal crescimento tem impacto negativo nas estruturas de pavimentos já existentes pois, com a evolução de cargas e surgimentos de veículos com novos eixos, há uma maior solicitação destas estruturas, fato que faz necessária a manutenção e acompanhamento de vias.

Destaca-se que o país possui uma malha de 65,4 mil quilômetros de rodovias pavimentadas segundo o Caderno de Transportes (BRASIL, 2018), é necessário que seja dada atenção aos gastos gerados por esse modal de transporte, tendo em vista que os materiais utilizados e a mão de obra têm custos elevados.

Segundo Silva (2018), os principais causadores do aparecimento de patologias em pavimentos flexíveis são as condições ambientais, o excesso de carga nos veículos que transitam sobre as vias e a falta de manutenção. Dito isso, é nítida a importância de um trabalho efetivo não só na manutenção dos pavimentos, como nos dimensionamentos, visando estruturas com maior vida útil.

Atualmente, o dimensionamento de pavimentos no país é feito de acordo com o Manual de Pavimentação do DNER e segue a abordagem empírica desenvolvida na década de 1960. Desde essa época, há um esforço muito grande em estudar melhor a mecânica dos pavimentos e materiais que o compõem, a fim de que se possa ter mais conhecimento de como realmente se comportam os pavimentos e como o tempo e a aplicação de cargas repetidas podem afetar características dessa estrutura.

Para aprimorar o método empírico, foi desenvolvida a abordagem mecanicista-empírica, que utiliza modelos matemáticos com regressão de dados ensaiados de laboratório e fatores de calibração obtidos em campo e laboratório (FRANCO, 2007).

Em busca de dimensionamentos mais aprimorados e pavimentos com uma maior vida útil, foi desenvolvido o Método de Dimensionamento Nacional, apelidado de MEDINA, em homenagem ao pesquisador de mecânica dos pavimentos Jacques de Medina. Com seu desenvolvimento iniciado em 2014, o método passará a ser implantado em todo território nacional a partir de 2021, como apontado na Instrução de Serviço IS-247.

Com um método de análise baseado em previsões de dados obtidos em campo, por meio de equações e constantes que necessitam de calibração, a proposta visa atender a nova demanda existente para pavimentos no país.

Para uma melhor aplicação de recursos e de mão de obra técnica, é necessário avaliar as diferenças entre os métodos de dimensionamento existentes, para que se utilize a metodologia adequada para as diferentes solicitações de cada trecho. Essa será a análise apresentada neste trabalho, a partir dos resultados em espessuras e tensões existentes nas estruturas a serem dimensionadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

A definição de pavimento apresentada no Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é:

[...]uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocadas em contato resultando daí um elevado grau de complexidade no que respeita ao cálculo de tensões e deformações atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego" (DNIT, 2006, p.95).

Segundo Marquesini (2012), os pavimentos flexíveis são compostos por uma mistura de agregados e ligantes asfálticos. Sua estrutura é composta por camadas, sendo elas de revestimento, base, sub-base e reforço de subleito, se necessário.

O revestimento é a camada mais nobre da estrutura e geralmente são submetidos a esforços de compressão e tração devido a flexão, e tem como objetivo fazer com que as demais camadas estejam submetidas principalmente à compressão (BERNUCCI et al., 2006), essas camadas são denominadas de base e sub-base, que são executadas em materiais granulares e possui a função de absorver os esforços provenientes do tráfego até um valor que seja adequado para o subleito existente no local da obra. Outro papel importante dessas camadas é auxiliar na drenagem subsuperficial, evitando que a presença da água prejudique a transmissão de esforços na estrutura. (BALBO, 2007).

A fim de reduzir os esforços que chegam ao subleito, há outras soluções construtivas que podem ser adotadas, como os pavimentos semirrígidos e os semirrígidos invertidos. Os pavimentos

semirrígidos se caracterizam por ter uma base estabilizada quimicamente, sendo estruturada da seguinte forma: revestimento, base cimentada, sub-base granular, reforço do subleito e subleito. Como nos pavimentos flexíveis, os semirrígidos são revestidos de material asfáltico, porém eles se diferenciam por ter presença de ligantes hidráulicos em sua base com o intuito de alcançar uma maior rigidez (PAIXÃO et al., 2017).

Ainda segundo Paixão (2017) temos os pavimentos invertidos que é uma técnica onde fazemos a troca de posição da sub-base de material granular com a base em material cimentado, nessa técnica é necessário que as camadas de revestimento sejam aumentadas para que os esforços solicitantes sejam suavizados ao chegarem na base estabilizada quimicamente.

A camada final é o subleito, que é compactada para que atinja as características de suporte necessárias ao solo, para avaliar o potencial de ruptura do subleito temos o ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC), além do módulo de resiliência (MR) (BERNUCCI et al., 2006).

2.2 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DNER/DNIT

Em 1960 foi lançada a primeira edição do manual de pavimentação do DNIT, devido à necessidade de normatizar e uniformizar as técnicas de construção de pavimento no país (DNIT, 2006). Essa metodologia adota coeficientes de equivalência estrutural para as diferentes camadas do pavimento de acordo com o material que é constituída, bem como a capacidade de suporte do subleito sobre o qual será colocada a estrutura, definido pelo ensaio de ISC normatizado pelo Método de Ensaio ME 172/2016 (VENESCAU, 2021).

Nessa metodologia a camada de revestimento varia diretamente de acordo com o tráfego solicitante do trecho, que é apresentado em forma do número de aplicações de um eixo padrão rodoviário, o número N, variando entre tratamentos superficiais betuminosos e concreto betuminoso com 12,5 centímetros de espessura (DNIT, 2006).

A espessura das demais camadas é obtida de acordo com um conjunto de inequações que dependem do ISC de cada camada, bem como seus coeficientes de equivalência e a espessura destas. Todas as camadas dimensionadas têm o objetivo de reduzir a solicitação realizada no subleito e a metodologia utiliza um ábaco que relaciona o ISC das camadas com o número N de solicitações de tráfego.

2.3 MÉTODO MECANICISTA VIA MNLAYER

De acordo com Franco (2007) o procedimento mecanicista empírico basicamente consiste em reunir os dados referentes aos materiais de pavimentação, ao tráfego e as condições ambientais; comparar os dados de resistências conforme as épocas sazonais e o comportamento dos materiais em função do tipo de carregamento; escolha da espessura das camadas e calcular as tensões e deformações tendo em consideração as diversas correlações obtidas; comparar os valores críticos das

tensões e deformações com os danos que a repetição das cargas podem causar ao pavimento por meio de modelos de previsão; verificar se as espessuras escolhida atende às condições impostas no dimensionamento.

Para complementar a análise mecanicista, ainda segundo Franco (2007, p. 25):

[...] é fundamental ter disponível uma ferramenta que permita calcular as tensões, deformações e deslocamentos em diversos pontos de uma estrutura de um pavimento; gerados por um carregamento composto por diversas rodas de um veículo; considerando o comportamento resiliente, linear ou não, dos materiais; e com certo nível de confiança e precisão nos resultados.

Desenvolvido em parceria entre a Universidade de Minnesota e a Universidade de São Paulo, o MnLayer é um software baseado na solução de Burmister de análise linear de múltiplas camadas para a avaliação de pavimentos (BUENO, 2016). Com auxílio do software, foram analisados pontos de interesse nas camadas do pavimento, a fim de compreender como a estrutura reage aos esforços aplicados.

2.4 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO MEDINA

O Método de dimensionamento nacional (MEDINA) foi desenvolvido entre 2015 e 2018 pelo instituto de pesquisas rodoviárias -IPR e o Instituto Alberto Luiz de Coimbra de pós-graduação e pesquisa de engenharia da Universidade federal do Rio de Janeiro – COPPE e colaboração do centro de Pesquisas da Petrobrás – CENPES e de diversas universidades do Brasil (SILVA, 2018).

O método tem uma metodologia mecanicista empírica, assim deve ter seu comportamento avaliado de forma analítica todos os seus fatores e solicitações de resistência dos materiais precisam ser equacionados, a avaliação da estrutura é feita por meio do equilíbrio entre os esforços que são impostos e pelas cargas de tráfego com sua repetição e a capacidade dos materiais que a constituem, ainda segundo Silva (2018).

Segundo o Venescau (2021) esse método veio com o objetivo de aumentar a confiabilidade do dimensionamento de pavimentos e diminuir os custos de manutenção deles, pois considera tensões e deslocamentos de toda a estrutura e avalia os danos causados em todas as camadas.

Ainda segundo Venescau (2021), a análise realizada pelo método considera os impactos sequenciais em toda a estrutura do pavimento e assim consegue simular mais fielmente os acontecimentos reais, e o método mecanicista considera como um dos principais parâmetros o módulo de resiliência dos materiais para todas as camadas envolvidas na estrutura do pavimento, esse módulo é usado como entrada de dados para se fazer o cálculo de tensões e deformações em diferentes pontos do pavimento. Para a aplicação deste método mecanicista foi desenvolvido um software, chamado MEDINA, que é um programa computacional, desenvolvido na linguagem C++, para realizar a

verificação do dimensionamento de estruturas de camadas elásticas em análise de estruturas de múltiplas camadas (VENESCAU, 2021).

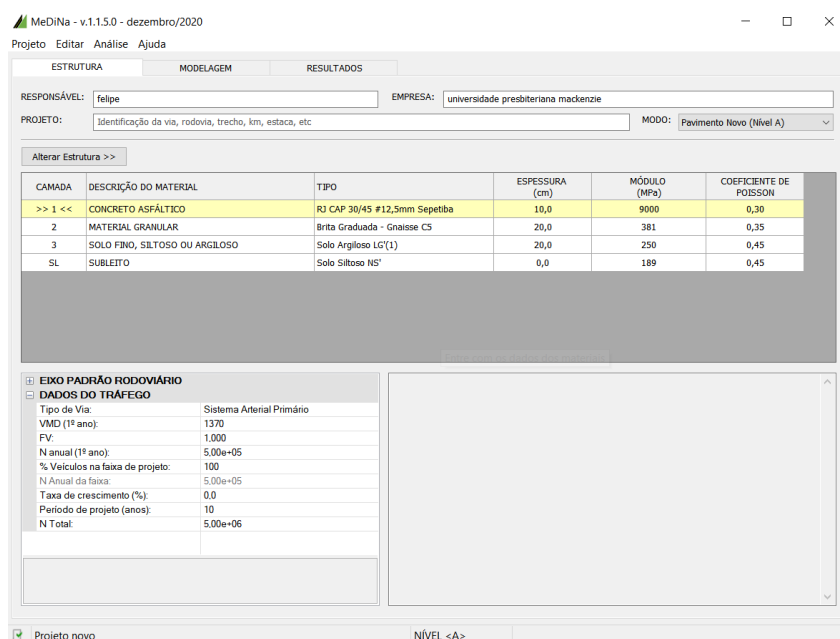
Com base no Manual de Utilização do MEDINA (DNIT, 2020) o MEDINA tem outros softwares que o complementam, um deles é o AEMC. Esse software realiza a análise de camadas elásticas e utiliza em sua estrutura geral de cálculo a integração de Gauss-Laguerre nos cálculos das equações integrais. O programa usa a solução de problemas de elasticidade linear em sistemas de multicamadas e contínuos, os métodos que utilizam esse tipo de solução têm como vantagem combinar carregamentos de mais de uma roda, por meio de superposição e da hipótese de elasticidade linear. Além de nos dar como resposta alguns itens como: tensões radiais; tensões tangenciais; tensões de cisalhamento no plano vertical-radial; e deflexões verticais radiais (DNIT, 2020).

Para a utilização da ferramenta MEDINA primeiramente é necessário indicar quantas camadas o projeto terá, após inserir a quantidade de camadas, o software disponibiliza uma biblioteca de materiais para o usuário selecionar qual deseja usar em cada camada, além de poder adicionar quaisquer outros materiais se necessário, tendo que indicar suas características. Para auxiliar os usuários o Manual de Ajuda Programa MEDINA (2020) apresenta qual Classe de revestimento se deve utilizar para os números N adotados, sendo elas:

- As misturas que não atingiram um valor de N de $4,5 \times 10^6$, não são aplicadas em campo, por trincarem muito rapidamente.
- As misturas Classe 1 atenderam as estruturas com o valor de N entre $4,5 \times 10^6$ e $6,0 \times 10^6$.
- As misturas Classe 2 atenderam as estruturas com o valor de N entre $6,0 \times 10^6$ e $7,5 \times 10^6$.
- As misturas Classe 3 atenderam as estruturas com o valor de N entre $7,5 \times 10^6$ e $1,0 \times 10^7$.
- As misturas Classe 4 possuem um valor de N maior de $1,0 \times 10^7$.

Outra característica do MEDINA é a janela existente abaixo da estrutura do pavimento, onde consegue alterar o número N, Tipo de via, Período de projeto, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1: Janela do MEDINA para preenchimento de dados do trecho



Já para a utilização do AEMC, o usuário deve indicar a quantidade de camadas que deseja, juntamente com suas espessuras, módulo de resiliência, coeficiente de Poisson, massa específica e os pontos na estrutura que deseja calcular. Ao rodar o aplicativo, ele irá calcular as tensões, deslocamentos e deformações, fornecendo dados para estudo.

3 METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizada a definição das soluções de pavimentação a serem adotadas no estudo, bem como quais os materiais e valores de índices físicos seriam adotados. Consultando as referências, foram adotadas as alternativas, materiais e as espessuras máximas para todas as camadas apresentadas na Figura 2 e os materiais indicados na Tabela 1.

Figura 2: Valores das espessuras adotadas para cada solução de pavimentação

Pavimento Flexível		Pavimento Semirrigido	
Concreto Asfáltico	5 a 20 cm	Concreto Asfáltico	5 a 20 cm
Brita Graduada Simples	15 a 25 cm	Brita Graduada Tratada com Cimento	10 a 25 cm
Macadame Seco	15 a 40 cm	Macadame Seco	15 a 40 cm
Reforço em Solo	0 a 45 cm	Reforço em Solo	0 a 45 cm
Subleito		Subleito	

Pavimento Semirrigido Invertido	
Concreto Asfáltico	5 a 20 cm
Brita Graduada Simples	15 a 25 cm
Brita Graduada Tratada com Cimento	10 a 25 cm
Reforço em Solo	0 a 45 cm
Subleito	

Tabela 1: Valores adotados para módulos de resiliência e coeficientes de Poisson

Material	MR (MPa)	Coefficiente de Poisson
Concreto Asfáltico	3500	0.30
Brita Graduada Simples (BGS)	350	0.35
Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC)	12000	0.25
Macadame Seco	200	0.35
Solo para Reforço	120	0.40

A adoção dos trechos para estudo foi realizada de maneira a contemplar diferentes faixas de tráfego e características de suporte do subleito. Para os valores de número N, foram adotados valores entre 5×10^6 e 1×10^8 . Já para os valores de ISC, foram adotados 3%, 7% e 10%, para cálculo do módulo de resiliência do subleito, foi usada a relação expressa na Equação 1.

$$MR = ISC \cdot 10 \quad (MPa) \quad (1)$$

Na Tabela 2 podemos ver a divisão de trechos final.

Tabela 2: Divisão de trechos propostos

Estrutura	Número N (operações do eixo padrão)	ISC do Subleito (%)	MR do Subleito (Mpa)
3	5.00E+06	10	100
4	1.00E+07	3	30
5	1.00E+07	7	70
6	1.00E+07	10	100
7	5.00E+07	3	30
8	5.00E+07	7	70
9	5.00E+07	10	100
10	1.00E+08	3	30
11	1.00E+08	7	70
12	1.00E+08	10	100

Os doze trechos adotados para estudo foram dimensionados, de maneira a se obter a estrutura mais adequada economicamente e tecnicamente. Primeiro foram realizados os dimensionamentos para os trechos no método DNIT/DNER, a fim de se obter as espessuras mínimas para iniciar as análises mecanicistas no software MnLayer.

De posse desses trechos dimensionados corretamente de acordo com os ISC dos materiais da estrutura e do subleito, obtivemos as estruturas que foram adotadas como estruturas mínimas para os três tipos de solução de pavimentação propostas neste estudo.

A próxima etapa consiste em analisar estas estruturas no software MnLayer e obter os resultados para tensões, deformações e deslocamentos em pontos de interesse da estrutura, a fim de realizar uma comparação com as equações de fadiga adotadas. Estes pontos de interesse são os destacados abaixo:

- Deflexão no topo do revestimento;
- Tração na fibra inferior do revestimento;
- Tração no fundo da camada cimentada, caso exista;
- Tensão de compressão no topo do subleito.

Esses pontos de análise são de extrema importância pois foram utilizados no cálculo do N admissível do trecho a ser comparado com o N proposto ao trecho. Nos casos em que o N admissível foi superior ao N calculado na simulação do trecho em todos os critérios, o pavimento foi considerado aprovado como uma alternativa válida.

A camada mais externa do pavimento é o revestimento e ela será analisada em dois pontos diferentes, sendo o primeiro a sua superfície. Como apresentado na IP-DE-P00/01 do Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de São Paulo (DER-SP, 2006), é indicado verificar qual o deslocamento vertical recuperável do pavimento para que se realize a comparação com as expressões

matemáticas da DNER-PRO 011 ou da DNER-PRO 269. No estudo foi adotada a metodologia da DNER-PRO 269, que relaciona o número N do trecho com o deslocamento vertical recuperável, expressa na Equação 2.

$$\log D_{adm.} = 3,148 - 0,188 \cdot \log N_p \quad (2)$$

Onde:

D_{adm} = deflexão máxima admissível;

N_p = número cumulativo de solicitações de projeto do eixo padrão rodoviário durante o período de projeto.

Já o segundo ponto de interesse desta mesma camada é a fibra inferior para a análise de fadiga, ainda de acordo com os modelos apresentados na IP-DE-P00-01(DNER, 2006). A adoção do modelo de equação foi do *Asphalt Institute*, de 1976. Como expressa a Equação 3.

$$N = 2,961 \cdot \left(\frac{1}{\epsilon t}\right)^{3,291} \quad (3)$$

Onde:

N = número cumulativo de solicitações de projeto do eixo padrão rodoviário durante o período de projeto;

ϵt = deformação específica horizontal na tração.

Em caso de existência de uma camada composta de BGTC, a análise realizada segue o modelo proposto por Balbo em 1993, que relaciona a tração da fibra inferior com a tração máxima de ruptura para a BGTC (Equação 4). Conforme Balbo (2007), a resistência máxima à tração na flexão pode chegar a 1,0 MPa, valor considerado durante os cálculos.

$$N = 10^{(17,137 - 19,608 SR)} \quad (4)$$

Onde:

N = número cumulativo de solicitações de projeto do eixo padrão rodoviário durante o período de projeto;

SR = relação entre a tensão de tração atuante com a tensão de tração na ruptura do material.

Ainda segundo a IP-DE-P00/01 - 2006, foi admitido para a análise realizada no topo do subleito o modelo de equação do *Asphalt Institute* de 1984 (Equação 5).

$$N = 1,338 \cdot 10^{-9} \cdot \left(\frac{1}{\epsilon v}\right)^{4,484} \quad (5)$$

Onde:

N = número cumulativo de solicitações de projeto do eixo padrão rodoviário durante o período de projeto;

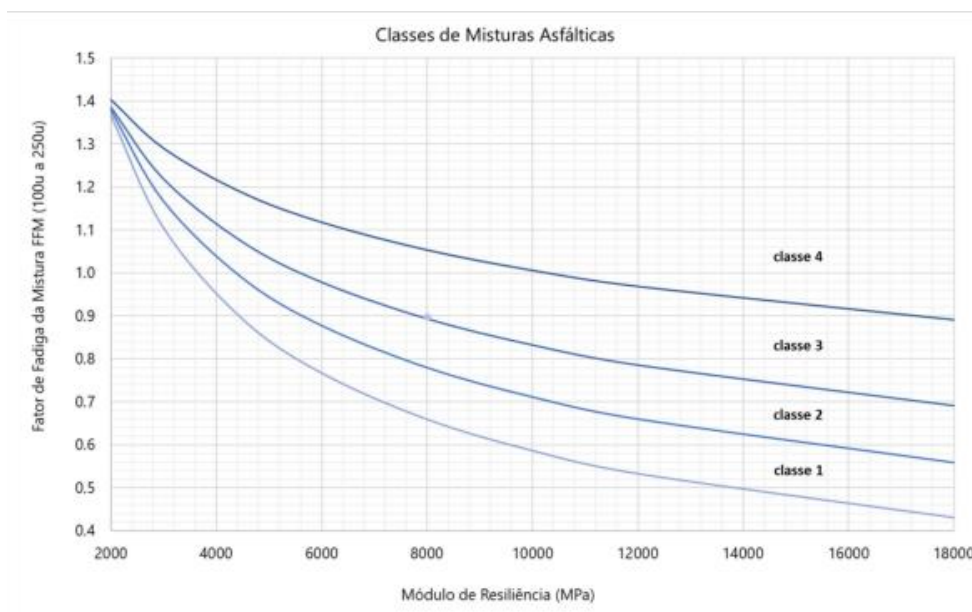
ϵv = deformação específica horizontal de compressão no topo do subleito.

Por se tratar de uma análise que conta com modelos de previsão de tensões e deformações para as estruturas propostas e um conjunto de equações para analisar a fadiga, foi realizado o

dimensionamento do MnLayer, iniciando-se com a estrutura dimensionada pelo método DNER/DNIT e fazendo acréscimos nas espessuras gradualmente, a fim de buscar a solução mais econômica, até que fossem satisfeitas as equações adotadas para o dimensionamento via análise mecanicista. Para garantir a melhor alternativa econômica, as espessuras foram elevadas de acordo com o custo de execução da camada de modo a sempre aumentar primeiro a camada de menor custo.

Da mesma forma, foi iniciado em paralelo os dimensionamentos dos trechos utilizando o software MEDINA. Na primeira etapa, realizou-se a entrada dos dados com o número N correspondente a cada trecho, o tipo de via, sendo utilizado o sistema arterial principal que exige uma confiabilidade de 95%, área de trincamento até 30% e deformação permanente com limite máximo de 10 mm. Após a inserção dos dados do trecho, foram criados os materiais necessários para cada tipo de pavimento, no caso dos revestimentos asfálticos verificamos sua classe de fadiga de acordo com o manual de utilização do MEDINA, como apresentado no item 2.4, e seu fator de fadiga da mistura, conforme ilustra a Figura 3. Os materiais adicionados foram: macadame seco, revestimentos asfálticos, o reforço e os subleitos com os ISC propostos e seus devidos módulos de resiliência, que foram calculados através da Equação 1.

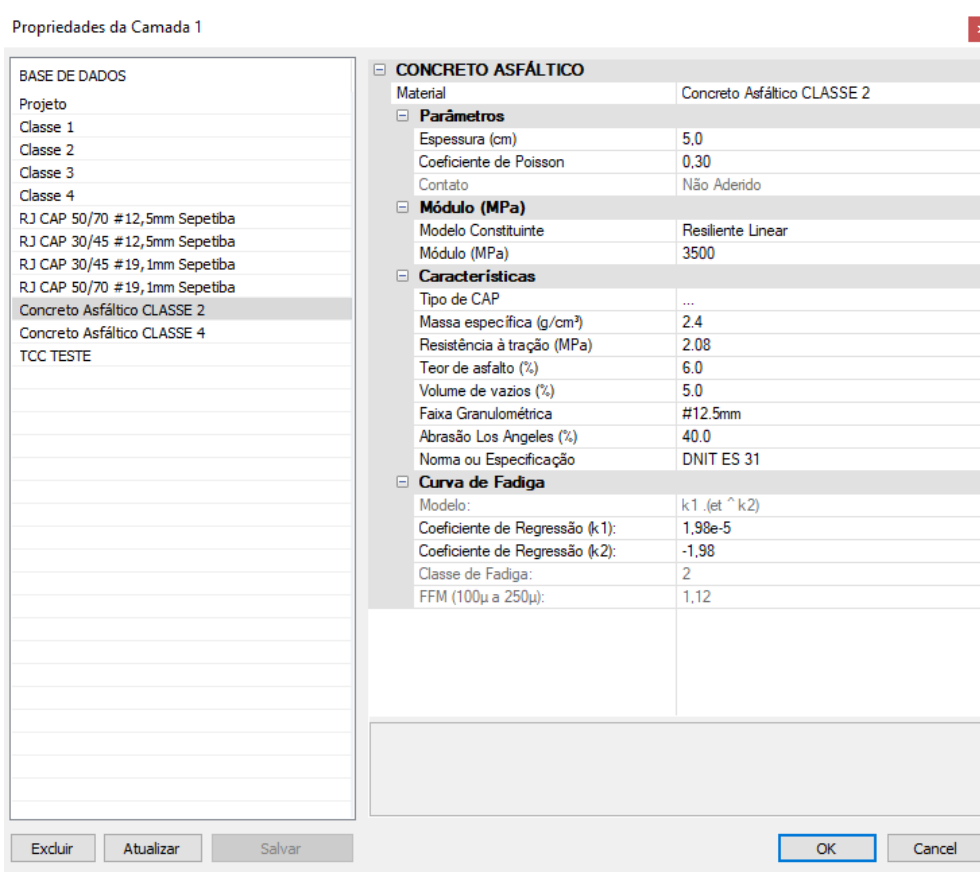
Figura 3: Gráfico de classes de misturas asfálticas



Fonte: Manual de Ajuda Programa MEDINA (2020)

Para a criação correta dos materiais, é necessário criar um novo projeto de material na aba "propriedades de camada", apresentado abaixo na Figura 4, sendo necessário inserir o módulo de resiliência, coeficiente de Poisson, coeficiente de regressão e as massas específicas de cada um dos materiais.

Figura 4: Aba propriedades da camada do software MEDINA



Finalizado a criação dos materiais, foi iniciado o dimensionamento no programa aplicando de início sempre a espessura mínima de cada material e dimensionando a estrutura do pavimento das camadas menos nobres até o revestimento asfáltico, a fim de encontrar a solução que melhor atendesse os critérios técnicos e econômicos.

Após o dimensionamento realizado via MEDINA, foi feita a entrada de dados no software AEMC para realizar a análise mecanicista, obtendo também as informações sobre deslocamentos e tensões atuantes na estrutura destes pavimentos.

Com os resultados dos dois softwares em mãos, foi realizada a comparação entre resultados e características de ambos os métodos de dimensionamento avaliados neste estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dimensionados de acordo com as inequações presentes do Manual de Pavimentação do DNIT e as características apresentadas dos materiais no item 3, obtiveram-se as estruturas indicadas nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3: Pavimentos flexíveis dimensionados pela metodologia DNER/DNIT

Estrutura	Solução de Pavimentação	Número N (operações do eixo padrão rodoviário)	ISC (%)	Espessuras (cm)			
				Revestimento	Base	Sub-base	Reforço
1A	Flexível	5.00E+06	3	5	18	15	42
2A	Flexível	5.00E+06	7	5	18	15	15
3A	Flexível	5.00E+06	10	5	18	15	-
4A	Flexível	1.00E+07	3	7.5	15	15	43
5A	Flexível	1.00E+07	7	7.5	15	15	15
6A	Flexível	1.00E+07	10	7.5	15	15	-
7A	Flexível	5.00E+07	3	10	15	15	45
8A	Flexível	5.00E+07	7	10	15	15	15
9A	Flexível	5.00E+07	10	10	15	15	-
10A	Flexível	1.00E+08	3	12.5	15	15	43
11A	Flexível	1.00E+08	7	12.5	15	15	15
12A	Flexível	1.00E+08	10	12.5	15	15	-

Tabela 4: Pavimentos semirrígidos dimensionados pela metodologia DNER/DNIT

Estrutura	Solução de Pavimentação	Número N (operações do eixo padrão rodoviário)	ISC (%)	Espessuras (cm)			
				Revestimento	Base	Sub-base	Reforço
1B	Semirrígido	5.00E+06	3	5	11	15	41
2B	Semirrígido	5.00E+06	7	5	11	15	15
3B	Semirrígido	5.00E+06	10	5	11	15	-
4B	Semirrígido	1.00E+07	3	7.5	10	15	41
5B	Semirrígido	1.00E+07	7	7.5	10	15	15
6B	Semirrígido	1.00E+07	10	7.5	10	15	-
7B	Semirrígido	5.00E+07	3	10	10	15	43
8B	Semirrígido	5.00E+07	7	10	10	15	15
9B	Semirrígido	5.00E+07	10	10	10	15	-
10B	Semirrígido	1.00E+08	3	12.5	10	15	41
11B	Semirrígido	1.00E+08	7	12.5	10	15	15
12B	Semirrígido	1.00E+08	10	12.5	10	15	-

Tabela 5: Pavimentos semirrígidos invertidos dimensionados pela metodologia DNER/DNIT

Estrutura	Solução de Pavimentação	Número N (operações do eixo padrão rodoviário)	ISC (%)	Espessuras (cm)			
				Revestimento	Base	Sub-base	Reforço
1C	Semirrígido Invertido	5.00E+06	3	5	18	10	40
2C	Semirrígido Invertido	5.00E+06	7	5	18	10	15
3C	Semirrígido Invertido	5.00E+06	10	5	18	10	-
4C	Semirrígido Invertido	1.00E+07	3	7.5	15	10	41
5C	Semirrígido Invertido	1.00E+07	7	7.5	15	10	15
6C	Semirrígido Invertido	1.00E+07	10	7.5	15	10	-
7C	Semirrígido Invertido	5.00E+07	3	10	15	10	43
8C	Semirrígido Invertido	5.00E+07	7	10	15	10	15
9C	Semirrígido Invertido	5.00E+07	10	10	15	10	-
10C	Semirrígido Invertido	1.00E+08	3	12.5	15	10	41
11C	Semirrígido Invertido	1.00E+08	7	12.5	15	10	15
12C	Semirrígido Invertido	1.00E+08	10	12.5	15	10	-

Nota-se um padrão nas diferentes soluções da pavimentação para os trechos, no qual os trechos 3, 6, 9 e 12 não necessitam, obrigatoriamente, de uma espessura de reforço por conta da alta capacidade de suporte de seu subleito. Para melhor entendimento, os trechos foram agrupados para apresentação de resultado de acordo com sua faixa de solicitação de tráfego ao longo do período de projeto.

4.1 TRECHOS 1 A 3 - $N = 5,00 \times 10^6$

Os primeiros trechos dimensionados na metodologia DNER/DNIT foram os de número 1 a 3, com tráfego de 5×10^6 operações do eixo padrão rodoviário ao longo do período de projeto, o menor valor do estudo.

Nessa faixa de tráfego, a espessura mínima para a espessura de revestimento é de 5,0 centímetros de acordo com o método DNER/DNIT. Devido aos custos para execução da camada em BGTC e a baixa solicitação de tráfego existente, as alternativas semirrígidas foram descartadas para esses trechos.

Após várias rodadas de estruturas no MnLayer e conferência de valores de tensões e deformações limites, obtiveram-se as estruturas apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Estruturas dimensionadas no MnLayer para os trechos 1 a 3

Estrutura	Solução de Pavimentação Adotada	Número N	ISC do Subleito (%)	Revestimento (cm)	Base (cm)	Sub-base (cm)	Reforço (cm)	Espessura Total (cm)
1	Flexível	5.00E+06	3	7	25	40	45	117
2	Flexível	5.00E+06	7	5	18	30	42	95
3	Flexível	5.00E+06	10	5	15	25	40	85

Para a estrutura 1, obteve-se uma espessura total de 117 centímetros, com adoção de espessuras máximas, propostas no item 3, de base, reforço e de sub-base em macadame seco, fato que se deve principalmente à baixa capacidade de suporte do subleito de 3% de ISC. O revestimento adotado foi maior que o mínimo pela metodologia DNER/DNIT, essa necessidade veio, pois, as demais camadas já estavam no máximo adotado para o estudo e, sem esse acréscimo de 2 centímetros ao mínimo, não seria possível atender os critérios adotados na metodologia mecanicista, principalmente devido ao critério limite de compressão no topo do subleito.

A estrutura 2 possui características muito semelhantes à primeira, tendo como diferença apenas a capacidade de suporte do subleito que passa de 3% para 7%. Como esperado, é notada uma diminuição não só na espessura total, mas também em todas as camadas que compõem a solução proposta. O revestimento aprovado na análise mecanicista foi o mínimo inicial do estudo, já para as camadas de base houve a necessidade de se incrementar apenas 3 centímetros ao valor mínimo. Para a camada de sub-base foi necessário o dobro da espessura inicial e para o reforço foi necessário quase a espessura máxima proposta.

Já para o terceiro trecho apresentado acima, estrutura 3, o dimensionamento sem reforço mostrou a necessidade de se empregar as espessuras máximas na camada de base e sub-base, bem como elevar em 6 centímetros a espessura de revestimento, solução pouco favorável economicamente. Foi realizado então o estudo com a execução de uma camada de reforço, devido ao baixo custo dessa camada e visando uma possível redução na espessura de revestimento, camada mais onerosa do pavimento. A Tabela 7 apresenta a comparação entre estes dimensionamentos.

Tabela 7: Estrutura 3 dimensionada para análise da necessidade de reforço

Estrutura	Solução de Pavimentação Adotada	Número N	ISC do Subleito (%)	Revestimento (cm)	Base (cm)	Sub-base (cm)	Reforço (cm)	Espessura Total (cm)
3	Flexível	5.00E+06	10	11	25	40	0	76
3	Flexível	5.00E+06	10	5	15	25	40	85

Nota-se que foi possível adotar o mínimo de revestimento e de base, portanto nesse trecho a estrutura com reforço se mostrou a solução mais econômica. Para o trecho 3, houve apenas necessidade de adicionar o reforço e aumentar a camada de sub-base em 10 centímetros, obtendo uma estrutura com espessura total superior à alternativa sem reforço, mas ainda assim, com menor custo de execução.

Já na metodologia MEDINA, para o trecho 1 a 3, os resultados observados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Estruturas dimensionadas no MEDINA para os trechos 1 a 3

Estrutura	Solução de Pavimentação Adotada	Número N	ISC do Subleito (%)	Revestimento (cm)	Base (cm)	Sub-base (cm)	Reforço (cm)	Espessura Total (cm)
1	Flexível	5.00E+06	3	5	15	15	28	63
2	Flexível	5.00E+06	7	5	15	15	0	35
3	Flexível	5.00E+06	10	5	15	15	0	35

Na estrutura 1 obteve-se uma camada total com 63 centímetros, quase da metade da espessura obtida no dimensionamento via MnLayer, tendo em vista a não necessidade de aumentar a espessura do revestimento para atender às características de suporte e tráfego do trecho. Nota-se que as camadas aprovadas de base e sub-base foram as mínimas e que a espessura de reforço não necessitou do emprego da espessura total, apenas de 28 centímetros.

Já para estrutura 2 adotou-se uma estrutura com espessura total de 35 centímetros, necessitando apenas o emprego da camada mínima para o revestimento, base e sub-base, não necessitando de uma camada de reforço por conta da maior capacidade de suporte no subleito. Para a estrutura 3 há uma maior capacidade de suporte no subleito, portanto as espessuras aprovadas também foram as mínimas como esperado.

4.2 TRECHOS 4 A 6 - $N= 1,00 \times 10^7$

A próxima faixa de tráfego a ser dimensionada foi a de $N = 1 \times 10^7$ que contempla os trechos 4, 5 e 6, para os quais a espessura mínima de revestimento a ser adotada segundo a metodologia DNER/DNIT é de 7,5 centímetros. Devido ao aumento nas solicitações de tráfego do trecho, a análise no MEDINA demonstrou a possibilidade de uso de outras soluções de pavimentação, diferentemente do MnLayer.

Na Tabela 9 são apresentados os resultados dos dimensionamentos realizados no MnLayer.

Tabela 9: Estruturas dimensionadas no MnLayer para os trechos 4 a 6

Estrutura	Solução de Pavimentação Adotada	Número N	ISC do Subleito (%)	Revestimento (cm)	Base (cm)	Sub-base (cm)	Reforço (cm)	Espessura Total (cm)
4	Flexível	1.00E+07	3	12.5	25	40	45	122.5
5	Flexível	1.00E+07	7	7.5	18	35	41	101.5
6	Flexível	1.00E+07	10	7.5	25	40	27	99.5

Nota-se que, ainda que houve uma majoração no tráfego, não há justificativa para a adoção de soluções com emprego de camada cimentada. Para a estrutura 4, mais crítica apresentada na Tabela 9, a alternativa flexível exigiu o emprego de camadas de base, sub-base e reforço máximas, bem como o acréscimo em 5 centímetros da espessura de revestimento. Mais uma vez, essas espessuras justificam-se pela baixa capacidade de suporte do subleito.

Diferentemente da estrutura anterior, para a estrutura 5 não foi necessário o emprego de nenhuma de suas camadas em espessuras máximas propostas nem do acréscimo de espessuras no revestimento. A espessura mínima de revestimento satisfaz as equações mecanicistas e contamos com uma estrutura robusta, com maior uso de sub-base e reforço para reduzir as tensões aplicadas no subleito.

Como analisado anteriormente na estrutura 3, mesmo não havendo a necessidade do emprego de uma camada de reforço segundo a metodologia DNER/DNIT, podemos adotar essa alternativa a fim de se reduzir a camada de revestimento, caso essa seja diferente da mínima. Assim como na estrutura 3, o emprego de reforço fez com que a espessura mínima de revestimento satisfizesse as equações de dimensionamento, ainda adotando uma camada de reforço longe da máxima prevista no estudo.

Já nos dimensionamentos pelo método MEDINA, para as estruturas de 4 a 6, foi adotada a solução de pavimento semirrígido invertido, pois nas soluções de pavimento flexível e semirrígido, por conta de um aumento no volume tráfego, as espessuras de revestimento necessárias estavam acima do mínimo e para a solução de pavimento semirrígido invertido foi possível a adoção de camadas de revestimento com espessura mínima. Como indicado na Tabela 10.

Tabela 10: Estruturas dimensionadas no MEDINA para os trechos 4 a 6

Estrutura	Solução de Pavimentação Adotada	Número N	ISC do Subleito (%)	Revestimento (cm)	Base (cm)	Sub-base (cm)	Reforço (cm)	Espessura Total (cm)
4	Semirrígido Invertido	1.00E+07	3	5	10	25	0	40
5	Semirrígido Invertido	1.00E+07	7	5	10	22	0	37
6	Semirrígido Invertido	1.00E+07	10	5	10	21	0	36

Para estrutura 4, com um total de 40 centímetros, onde há uma baixa capacidade de suporte no subleito obteve-se as espessuras mínimas para as camadas de revestimento e base, já na sub-base foi necessário adotar uma maior camada de material cimentado para atender essas características, com 25 centímetros.

Já nas estruturas 5 e 6 nota-se espessuras totais muito próximas e menores camadas com emprego de aglomerante hidráulico, devido ao aumento na capacidade de suporte do subleito. Na estrutura foram adotadas as camadas mínimas para revestimento e base, e uma camada de 22 centímetros de material cimentado. A estrutura 6 difere-se apenas na camada de sub-base onde tivemos 1 centímetro a menos por conta de sua capacidade de suporte no subleito superior.

4.3 TRECHOS 7 A 9 - $N = 5,00 \times 10^7$

As próximas estruturas dimensionadas foram as com $N = 5 \times 10^7$, faixa de tráfego que ao analisada para pavimentos flexíveis, indicou a necessidade do emprego de grandes espessuras de revestimento e, para as demais camadas, o emprego de espessuras máximas propostas para as soluções, justificando a adoção de outras alternativas de pavimentação.

Para o dimensionamento realizado no MnLayer, as estruturas adotadas foram na solução de pavimento semirrígido invertido para todos os trechos, os resultados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Estruturas dimensionadas no MnLayer para os trechos 7 a 9

Estrutura	Solução de Pavimentação Adotada	Número N	ISC do Subleito (%)	Revestimento (cm)	Base (cm)	Sub-base (cm)	Reforço (cm)	Espessura Total (cm)
7	Semirrígido Invertido	5.00E+07	3	16.5	35	25	38	114.5
8	Semirrígido Invertido	5.00E+07	7	16.5	29	25	32	102.5
9	Semirrígido Invertido	5.00E+07	10	16.5	40	22	0	78.5

Nota-se que, devido às equações utilizadas para análise de tração na fibra inferior do revestimento e a análise de tração existente na fibra inferior da camada cimentada, foi necessário um aumento na espessura do revestimento, resultando em 16,5 centímetros nas três estruturas dentro dessa faixa de tráfego.

Para os trechos 7 e 8 foi necessário o emprego de espessuras de reforço, a fim de se reduzir os esforços resultantes no subleito. No trecho 7 foi necessário adotar a camada de base com 35 centímetros de BGS, distanciando o ponto de aplicação da carga da camada de espessura limite de

sub-base em BGTC e o emprego de 38 centímetros de reforço, já para o trecho 8 houve uma redução apenas nas camadas de base e reforço, que passaram a ter 29 e 32 centímetros respectivamente.

Já para as estruturas de 7 a 9 do MEDINA, foi adotado o pavimento semirrígido pois, quando comparado com os outros modelos, observou-se que a espessura total da estrutura se demonstrava bem mais viável, resultados demonstrados na Tabela 12:

Tabela 12: Estruturas dimensionadas no MEDINA para os trechos 7 a 9

Estrutura	Solução de Pavimentação Adotada	Número N	ISC do Subleito (%)	Revestimento (cm)	Base (cm)	Sub-base (cm)	Reforço (cm)	Espessura Total (cm)
7	Semirrígido	5.00E+07	3	12.5	25	40	0	77.5
8	Semirrígido	5.00E+07	7	9	23	40	0	72
9	Semirrígido	5.00E+07	10	8.5	22	35	0	65.5

Observa-se que não foi necessário o emprego da camada de reforço em nenhum dos trechos analisados, ainda que diante do acréscimo no tráfego imposto à estrutura. A estrutura 7 resultou em um total de 77,5 centímetros, sendo 12,5 centímetros de revestimento e sua camada de base e sub-base atingindo o valor máximo de 25 centímetros e 40 centímetros respectivamente. Enquanto para a estrutura 8, por conta de possuir um subleito com um maior módulo de resiliência, obteve-se uma diminuição na espessura do revestimento asfáltico e na camada cimentada, com 9 centímetros e 23 centímetros respectivamente, além de 40 centímetros de sub-base. Para o trecho 9, o suporte do subleito foi maior que as citadas acima, o que possibilitou uma redução da espessura total da estrutura, obtendo 8,5 centímetros de revestimento asfáltico, 22 centímetros de camada cimentada e 35 centímetros de sub-base.

4.4 TRECHOS 10 A 12 - $N= 1,00 \times 10^8$

Os trechos 10 a 12 possuem uma solicitação de tráfego muito elevada se comparadas aos demais trechos. Ao realizar os dimensionamentos pela metodologia mecanicista-empírica nota-se um padrão, as espessuras de revestimentos resultantes são muito altas e isso deve-se ao fato do elevado número N. As análises indicaram a necessidade do emprego de uma camada de revestimento superior a 20,5 centímetros, tornando a estrutura inviável economicamente.

Devido a esses resultados, as estruturas com essa faixa de tráfego foram descartadas, pois não há sentido propor uma solução que não seja factível. Para que haja uma maior resistência à tração na fibra inferior do revestimento, indica-se o emprego de um pavimento com revestimento em concreto armado, que constitui uma estrutura de pavimentos rígidos fora do escopo do estudo.

4.5 COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES DE PAVIMENTAÇÃO ADOTADAS

Nota-se que, tratando-se de espessuras, os resultados apresentaram muitas diferenças, na Tabela 13 encontram-se organizadas as espessuras totais de todas as estruturas juntamente com a

comparação entre as metodologias, indicando na coluna final qual o aumento da espessura quando o trecho foi dimensionado no método mecanicista-empírico.

Tabela 13: Comparativo entre espessuras totais das soluções

Estrutura	Solução de Pavimentação Adotada (MnLayer)	Espessura Total Estrutura no MnLayer (cm)	Solução de Pavimentação Adotada (MEDINA)	Espessura Total Estrutura no MEDINA (cm)	Aumento na Espessura Total no MnLayer sobre o Medina
1	Flexível	117	Flexível	63	85.7%
2	Flexível	95	Flexível	35	171.4%
3	Flexível	85	Flexível	35	142.9%
4	Flexível	122.5	Semirrígido Invertido	40	206.3%
5	Flexível	101.5	Semirrígido Invertido	37	174.3%
6	Flexível	99.5	Semirrígido Invertido	36	176.4%
7	Semirrígido Invertido	114.5	Semirrígido	77.5	47.7%
8	Semirrígido Invertido	102.5	Semirrígido	72	42.4%
9	Semirrígido Invertido	78.5	Semirrígido	65.5	19.9%

Para os três primeiros trechos, a comparação é entre estruturas com uma mesma alternativa de pavimentação e é notável o aumento de espessuras quando o dimensionamento é realizado pela metodologia mecanicista-empírica via MnLayer. Com um aumento de mais de 85% para as primeiras estruturas, é evidente que, tanto devido à metodologia DNER/DNIT com valores de espessura mínima já superiores à dimensionada pelo MEDINA. Outro fator que resulta em um aumento na espessura são as equações de fadiga empregadas durante a análise mecanicista. Para as estruturas 2 e 3, o aumento é mais evidente ainda, tendo em vista que o MEDINA indica que para que se atendam as características do trecho seria necessária apenas a espessura mínima proposta no estudo e, mais uma vez, por conta do uso dos dimensionamentos DNER/DNIT como mínimos, não haveria como aprovar uma estrutura igual pela análise mecanicista-empírica.

Já para os trechos 4 a 6, há uma diferença ainda maior que se deve à adoção da alternativa semirrígida invertida quando analisada pela metodologia MEDINA, a fim de se adotar a menor espessura de revestimento. Em todos estes trechos dimensionados pelo MnLayer, há um aumento de mais de 170%, valor muito elevado e que justifica economicamente a adoção da alternativa semirrígida invertida.

Os trechos 7 a 9 possuem, em ambas as metodologias, o emprego de camadas cimentadas, apenas alterando que para os pavimentos dimensionados pela análise mecanicista-empírica foi adotado a alternativa semirrígida invertida e para os realizados pelo MEDINA adota-se a alternativa semirrígida. Para esses trechos a diferença é notavelmente menor, fato que se justifica devido à grande solicitação de tráfego existente e ao emprego de soluções de pavimentação semelhantes.

Outro fator que analisaremos separadamente são as espessuras indicadas de revestimento, onde nota-se grandes diferenças, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14: Comparativo entre espessuras de revestimento das soluções

Estrutura	Solução de Pavimentação Adotada (MnLayer)	Espessura do Revestimento no MnLayer (cm)	Solução de Pavimentação Adotada (MEDINA)	Espessura do Revestimento o no MEDINA (cm)	Aumento na Espessura Total no MnLayer sobre o Medina
1	Flexível	7	Flexível	5	40,0%
2	Flexível	5	Flexível	5	0,0%
3	Flexível	5	Flexível	5	0,0%
4	Flexível	12.5	Semirrígido Invertido	5	150,0%
5	Flexível	7.5	Semirrígido Invertido	5	50,0%
6	Flexível	7.5	Semirrígido Invertido	5	50,0%
7	Semirrígido Invertido	16.5	Semirrígido	12.5	32,0%
8	Semirrígido Invertido	16.5	Semirrígido	9	83,3%
9	Semirrígido Invertido	16.5	Semirrígido	8.5	94,1%

Já na primeira estrutura, há um aumento de espessuras considerável quando o dimensionamento é realizado pela análise mecanicista-empírica, devido ao baixo ISC do subleito e à necessidade do emprego de camadas máximas para base, sub-base e reforço. Já para as estruturas adotadas para os trechos 2 e 3, a espessura é a mesma e coincide com a mínima do DNER/DNIT, pois na análise mecanicista-empírica, as equações de fadiga foram atendidas sem necessidade do emprego da espessura máxima nas demais camadas do pavimento.

Para as estruturas 4 a 6, devido ao uso das estruturas mínimas DNER/DNIT, a menor espessura de revestimento para a metodologia mecanicista-empírica é de 7,5 centímetros e, no caso da estrutura do trecho 4, foi necessário aumentar essa espessura em 5 centímetros para que, juntamente com as camadas subjacentes, as tensões e deformações resultantes pudessem ser reduzidas até atender todos os critérios de cálculo. Já pela metodologia MEDINA, estes três trechos tiveram soluções com 5 centímetros de revestimento, indicando que para essa faixa de tráfego, não há necessidade de se empregar os 7,5 centímetros propostos pela metodologia DNER/DNIT.

Para as estruturas dimensionadas restantes, houve também uma grande diferença nas espessuras de revestimento, dessa vez não causada apenas pela metodologia DNER/DNIT, que indica um mínimo de espessuras de 10 centímetros, mas causada pelo não atendimento de estruturas com espessuras menores de revestimento aos critérios de fadiga utilizados durante o estudo. Já na metodologia MEDINA, foi possível atender às solicitações do trecho 7 com a espessura mínima do DNIT, já para os trechos 8 e 9, não foi necessário o emprego da espessura mínima, indicando que a estrutura aprovada poderia ter, respectivamente 9 e 8,5 centímetros de revestimento, fato devido à maior capacidade de suporte de subleito quando comparado ao trecho 7.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a análise realizada, foi possível notar que, dispondo de diferentes métodos de cálculo e devido à não necessidade de se utilizar a aproximação empírica para dimensionar as estruturas

mínimas, as soluções obtidas pelo dimensionamento pelo MEDINA resultam em pavimentos com menor espessura total e de revestimento, na grande maioria dos casos.

Vale considerar que, além de ser uma ferramenta de uso mais simples, o software MEDINA realiza uma prévia do desenvolvimento de patologias na estrutura do pavimento, como o trincamento e o afundamento de trilha de roda para todo o período de projeto, apresentando o padrão de evolução dessas características. Assim, pode-se afirmar que a ferramenta é mais completa e irá fornecer dados mais precisos e fiéis à realidade vista em campo.

Embora realize essa análise completa, vale comentar que a ferramenta foi desenvolvida recentemente e ainda há muitos estudos a serem desenvolvidos sobre sua metodologia de cálculo e trabalho de coleta e análise de dados a ser realizado para alimentar a base de dados e servir para calibração das constantes utilizadas no software.

Também é válido ressaltar que a análise mecanicista dos dimensionamentos feitos no MEDINA foi realizada pelo AEMC, porém por conta da diferença de espessuras entre as estruturas dimensionadas não foi possível realizar uma comparação entre os resultados de tensões, deformações e deslocamentos obtidos pela metodologia do MnLayer. Contudo essa comparação indica uma lacuna de conhecimento para pesquisas futuras a serem realizadas.

REFERÊNCIAS

- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 560 p.
- BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Petrobras: ABEDA, Rio de Janeiro, 2006.
- BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Caderno de transportes**. Brasil, 2018. 82 p.
- BRASIL. Instituto de Pesquisa em Transporte .1.5. Manual de Ajuda: programa medina versão 1.1.5. Brasil, 2020. 38 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/medina/manual_medina_1_1_5.pdf. Acesso em: 20 nov. 2021.
- BUENO, Lucas Dotto. **Avaliação deflectométrica e de rigidez: estudo de caso em três trechos monitorados em Santa Maria/RS**. 2016. 471 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7926/BUENO%2c%20LUCAS%20DOTTO.pdf>. Acesso em: 16 maio 2021.
- CNT. **Pesquisa CNT de rodovias**. 23. ed. Brasília: Confederação Nacional de Transporte, 2019. 238 p. Disponível em: <https://www.cnt.org.br>. Acesso em: 18 maio 2021.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **IP-DE-P00/001: Projeto de pavimentação**. São Paulo, 2006. 53 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Publicação IPR - 719: Manual de pavimentação**. Brasil, 2006. 278 p. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf. Acesso em: 18 maio 2021.
- FRANCO, Filipe Augusto Cinque de Proença. **Método de dimensionamento mecânico empírico de pavimentos asfálticos - SISPAV**. 2007. 315 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- PAIXÃO, Monique et al. **Pavimentos semirrígidos: prevenção e tratamento da reflexão de trincas**. 2017. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2017. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/view/4949/3298>. Acesso em: 14 maio 2021.
- SILVA, José Emerson Gonçalves. **Método nacional de dimensionamento de pavimentos: Medina, avaliação da duplicação da AL-145**. 2018. 77 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/4810/1/M%C3%A9todo%20nacional%20de%20dimensionamento%20de%20pavimentos%20-Medina%2C%20avalia%C3%A7%C3%A3o%20da%20duplica%C3%A7%C3%A3o%20da%20AL-145.pdf>. Acesso em: 14 maio 2021.
- VENESCAU, Ricardo. **Conheça o Método de Dimensionamento Nacional – MEDINA**. Disponível em: <http://engenhariarodoviaria.com.br/conheca-o-novo-metodo-de-dimensionamento-nacional-medina/>. Acesso em: 14 maio 2021.