



**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

**CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR EM ENGENHARIA CIVIL**

MATHEUS NILTON DE SOUSA

**DIMENSINAMENTO DE
ESTRUTURAS DE
PAVIMENTO: APLICAÇÃO DO
MÉTODO DNER (1981) E DO
MÉTODO MeDiNa**

**Florianópolis - SC
2019**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICA DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

MATHEUS NILTON DE SOUSA

**DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTO:
APLICAÇÃO DO MÉTODO DNER (1981) E DO MÉTODO MeDiNa**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Santa Catarina,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil.

Professor Orientador: Fábio
Krueger da Silva.

FLORIANÓPOLIS

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Sousa, Matheus Nilton

Dimensionamento de Estruturas de Pavimento: Aplicação do Método DNER (1981) e do Método MeDiNa / Matheus Nilton Sousa ; orientação de Fábio Krueger Silva. - Florianópolis, SC, 2019.

100 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.

Inclui Referências.

1. Pavimentos flexíveis. 2. Dimensionamento. 3. Mecânico-Empírico. 4. MeDiNa. I. Silva, Fábio Krueger. II. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Construção Civil. III. Título.

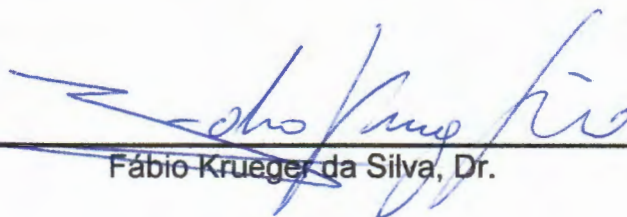
**DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTO:
APLICAÇÃO DO MÉTODO DNER (1981) E DO MÉTODO MeDiNa**

MATHEUS NILTON DE SOUSA

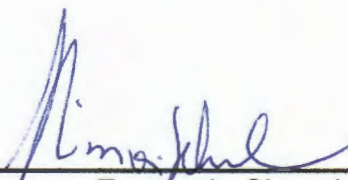
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de engenheiro civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 29 de julho de 2019.

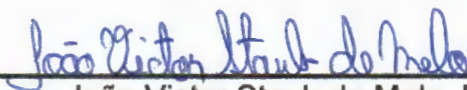
Banca examinadora:



Fábio Krueger da Silva, Dr.



Fernanda Simoni Schuch, Dr^a.



João Victor Staub de Melo, Dr.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a minha família, aos meus pais Nilton e Rita, que apoiaram todas as minhas decisões ao longo da minha vida e contribuíram para o desenvolvimento dela. Aos meus irmãos, Cassiani, Taisa, Júnior e Guilherme, pelo apoio e incentivo, e ao meu companheiro Maicon, pela paciência, amor e dedicação, que esteve presente desde o início da minha graduação, acompanhando todas as minhas batalhas.

Agradeço as minhas amizades cultivadas durante a faculdade, principalmente a Camila, a Carla e a Renata, que fizeram estes cinco anos de graduação, uma fase extremamente incrível e muito engraçada.

Aos professores por todo conhecimento transmitido e toda a disponibilidade cedida.

Aos integrantes da banca, por se disponibilizarem e contribuírem para o desenvolvimento desta pesquisa.

E principalmente ao meu professor orientador Fábio, que esteve presente na minha formação técnica e agora superior, por ter me guiado nesta fase tão importante da formação e contribuído de toda forma para a realização deste trabalho.

A Deus, por ter dado saúde e vitalidade a mim por me permitir acessar todas estas oportunidades.

*“O único homem que está isento de erros, é
aquele que não arrisca acertar. ”*

Albert Einstein

RESUMO

O atual método do dimensionamento de pavimentos flexíveis vigente no Brasil está defasado a pelo menos 30 anos quando comparado a outros países. No entanto, atualmente existem diversos métodos de dimensionamento que buscam a determinação de um pavimento duradouro e econômico, o qual dentre estes métodos cita-se a proposta mecanística-empírica. O modal rodoviário por ser o maior responsável pelos transportes no território brasileiro exige que as suas vias sejam suficientemente adequadas para o uso, permitindo mobilidade e eficiência, e consequentemente economia na execução das atividades relacionadas ao transporte. Assim, para a execução de uma rodovia adequada um dos fatores contribuintes é o projeto de pavimentação. Desta forma, o seguinte trabalho científico busca comparar os resultados obtidos no dimensionamento de um pavimento entre o método do DNIT e o método mecanístico-empírico, com o objetivo de avaliar se o dimensionamento mecanístico-empírico atende as necessidades solicitantes de uma rodovia. A metodologia aplicada para a execução deste trabalho possui caráter descritivo e exploratório, visto a necessidade da revisão de um método existente (DNIT) e a avaliação e verificação de um novo método (Método de Dimensionamento Nacional - MEDINA). As análises elaboradas, buscaram verificar o atendimento das condições mínimas para cada método utilizado. Por fim, os resultados gerados nesta pesquisa, demonstraram que o método do DNIT atualmente em utilização não atende as condições que serão impostas pelo novo método.

Palavras-chave: Pavimentos flexíveis. Dimensionamento. Mecanístico-Empírico. MEDINA.

ABSTRACT

The current method of designing flexible pavements in Brazil lags at least 30 years when compared to other countries. However, there are currently several design methods that seek the determination of a durable and economical floor, which among these methods is quoted the mechanistic-empirical proposal. The highway modalities, since they are the main responsible for transportation in the Brazilian territory, require that their roads are adequate enough to use, allowing mobility and efficiency, and consequently saving in the execution of transportation-related activities. Thus, for the implementation of an adequate highway one of the contributory factors is the paving project. In this way, the following scientific work seeks to compare the results obtained in the design of a pavement between the DNIT method and the mechanistic-empirical method, in order to evaluate if the mechanistic-empirical design meets the needs of a highway. The methodology applied for the execution of this work has a descriptive and exploratory character, considering the need to review an existing method (DNIT) and to evaluate and verify a new method (National Dimensioning Method - MEDINA). The elaborated analyzes sought to verify compliance with the minimum conditions for each method used. Finally, the results generated in this research, demonstrated that the DNIT method currently in use does not meet the conditions that will be imposed by the new method.

Keywords: Flexible flooring. Sizing. Mechanistic-Empirical. MEDINA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Organização da Pesquisa	17
Figura 2 - Densidade da malha rodoviária pavimentada por país (valores em km/1.000 km ²).....	18
Figura 3 - Malha rodoviária brasileira	19
Figura 4 - Matriz de transportes no Brasil	20
Figura 5 - Seção transversal típica do pavimento rígido	26
Figura 6 - Seção transversal típica do pavimento flexível	26
Figura 7 – Simulação de deformação elástica no pavimento flexível	27
Figura 8 - Espessura das camadas com base no CBR.....	33
Figura 9 - Ábaco para dimensionamento das espessuras do pavimento	34
Figura 10 - Fluxograma de dimensionamento	36
Figura 11 - Definição do local da obra.....	43
Figura 12 - Mapa de situação.....	44
Figura 13 – Seção de Pavimentação/ Restauração	50
Figura 14 - Aba de Estrutura do software MeDiNa.....	58
Figura 15 - Adicionando camada.....	60
Figura 16 - Eixo padronizado rodoviário.....	60
Figura 17 - Características dos materiais - Subleito.....	67
Figura 18 - Características dos materiais – Macadame Seco	67
Figura 19 - Características dos materiais – Brita Graduada Simples	68
Figura 20 - Características dos materiais – Concreto Asfáltico com Polímero	68
Figura 21 - Modelo 1 - Projeto executado com N do 1º Trecho.....	69
Figura 22 - Modelo 21 – Projeto executado com N do 2º Trecho.....	70
Figura 23 - Perfil satisfatório pelo método mecanístico-empírico para 1º Trecho	71
Figura 24 - Perfil satisfatório pelo método mecanístico-empírico para 2º Trecho	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação técnica das rodovias.....	24
Tabela 2 - Condições e restrições gerais para dimensionamento do pavimento	31
Tabela 3 - Espessuras mínimas de revestimentos betuminosos.....	32
Tabela 4 - Coeficientes de equivalência estrutural.....	35
Tabela 5 - Confiabilidade em função da classe da rodovia	41
Tabela 6 – Previsão de tráfego futuro – Segmento 1: km 0,0 (Pontes) – km 3,1 (Av. Ivo Silveira)	45
Tabela 7 – Previsão de tráfego futuro – Segmento 2: km 3,1 (Av. Ivo Silveira) – km 5,6 (BR-101)	45
Tabela 8 - Características operacionais	45
Tabela 9 – Estrutura adotada para a 3ª faixa	49
Tabela 10 – Dados de CBR de alguns pontos da Rodovia BR 282/SC	54
Tabela 11 - Valores críticos associados ao grau de confiança na amostra.....	55
Tabela 12 - CBR dos materiais utilizados	56
Tabela 13 - Critérios de desempenho sugeridos para utilização na concepção e dimensionamento de pavimentos asfálticos	62
Tabela 14 - Dados populacionais	63
Tabela 15 – Amostra coletada.....	63
Tabela 16 - Dimensionamento para o 1º trecho da Rodovia BR 282/SC	65
Tabela 17 – Dimensionamento para o 2º Trecho da Rodovia BR 282/SC	65
Tabela 18 - Modelagens utilizadas no software MEDINA, referente ao projeto executado	66
Tabela 19 - Características dos materiais aplicados no software MEDINA.....	66
Tabela 20 - Verificação dos critérios mínimos para os modelos elaborados.....	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	14
1.2	OBJETIVO GERAL	15
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4	ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA	16
2	PAVIMENTAÇÃO BRASILEIRA	18
2.1	MODAL RODOVIÁRIO	20
2.1.1	Características influentes para utilização do sistema rodoviário	21
2.1.2	Classificação funcional das rodovias	22
2.1.3	Classificação técnica das rodovias	22
2.2	PAVIMENTO	25
2.2.1	Tipos de Pavimentos	25
2.2.2	Estrutura dos Pavimentos	27
3	DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS	30
3.1	MÉTODO DO DNER (1981).....	30
3.2	MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO	36
3.2.1	Proposições de um método mecanístico de dimensionamento de pavimento asfáltico desenvolvido na COPPE.....	37
3.2.2	Roteiro para dimensionamento mecanístico-empírico	41
4	CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	43
4.1	MAPA DE SITUAÇÃO	43
4.2	ESTUDOS REALIZADOS.....	44
4.2.1	Estudo de Tráfego.....	45
4.3	PROJETOS ELABORADOS PELO MÉTODO DO DNIT	46
4.3.1	Projeto Geométrico	46
4.3.2	Projeto de Pavimentação/ Restauração	48
5	MÉTODO DA PESQUISA.....	51
5.1	DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO PELO MÉTODO DO DNER (1981)	52
5.2	DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO PELO MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO (MEDINA)	57
6	RESULTADOS E ANÁLISES	63
6.1	DEFINIÇÃO DO CBR DO SUB-LEITO.....	63
6.2	DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO DNER (1981)	64
6.3	VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO (MEDINA).....	65
7	CONCLUSÕES	77
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

9	APÊNDICES	82
----------	------------------------	-----------

	APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO DO DNER (1981) – 1º TRECHO	83
--	--	-----------

	APÊNDICE B - DIMENSIONAMENTO DO DNER (1981) – 2º TRECHO	82
--	--	-----------

	APÊNDICE C - DIMENSIONAMENTO MEDINA (1981) – 1º TRECHO.....	91
--	--	-----------

	APÊNDICE D- DIMENSIONAMENTO MEDINA (1981) – 2º TRECHO.....	95
--	---	-----------

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as estradas e rodovias são as principais alternativas para movimentação de cargas e pessoas, tornando o transporte rodoviário maior colaborador do desenvolvimento socioeconômico nacional. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte – CNT, além da infraestrutura rodoviária promover a integração de todo o sistema de transporte no país, é responsável pela participação de 61% na matriz de cargas e de 95% na de passageiros (CNT, 2017).

A predominância do modal rodoviário deve-se ao fato da falta de investimentos nos outros modais de transportes, aliado a vantagem quanto aos custos totais empregados, além da rapidez, agilidade e acessibilidade.

Apesar de o modal rodoviário ser o mais utilizado em território nacional, os investimentos não suprem a necessidade de construção e melhoramento das rodovias pavimentadas, que inevitavelmente contribuem para o desenvolvimento mais equilibrado de possíveis rotas para o escoamento de produtos, reduzindo assim, os custos logísticos e aumentando a competitividade dos produtos nacionais (CNT, 2017).

De acordo com a CNT (2017), demonstra-se que a densidade da malha rodoviária pavimentada total do Brasil ainda é muito pequena, principalmente quando comparada com a de outros países de dimensões territoriais semelhantes ou mesmo com alguns países da América Latina. A título de exemplo, o Brasil possui uma densidade de, aproximadamente, 24,8 km de rodovias pavimentadas para cada 1000 km² de área, extensão bastante inferior à densidade rodoviária de países como Estados Unidos (438,1 km/ 1000 km²), China (359,9 km/ 1000 km²) e Colômbia (179,9 km/ 1000 km²).

A falta de investimento no modal rodoviário combinado ao crescente volume de tráfego agrava as condições de segurança e qualidade, impactando em elevado custo nas intervenções de manutenção e conservação das rodovias brasileiras.

Uma rodovia com condições impróprias de pavimento tem significativo aumento no custo operacional do transporte, reduzindo o conforto e a segurança dos passageiros e das cargas. Um estudo realizado pela CNT (2017), buscou apontar as causas dos principais desgastes precoces dos pavimentos na rodovia brasileira,

sendo encontrados os seguintes fatores: tecnologias e processo construtivo, manutenção e gerenciamento, fiscalização e método do dimensionamento. Assim, o método de dimensionamento será tema do estudo desta pesquisa.

1.1 Justificativa do estudo

Os métodos de dimensionamento de pavimentação consistem na determinação de camadas e suas respectivas espessuras, de modo que sejam suficientes para resistir, transmitir e distribuir pressões que resultam do tráfego, objetivando a eliminação de deformações, rupturas ou desgastes superficiais prematuros. A estrutura concebida, deve ser capaz de suportar o tráfego estabelecido, considerando as condições climáticas locais e oferecendo desempenho satisfatório para suas funções (CNT, 2017).

No entanto, atualmente, a metodologia brasileira para o dimensionamento de rodovias apresenta uma defasagem média de 40 anos em relação a países como Estados Unidos, China e França. Stenio Cuentro (2017), Presidente da Associação Brasileira de Engenheiros Civil no Estado de Pernambuco (ABENC-PE), afirma que a tecnologia do dimensionamento de pavimentos brasileiros está retardada em no mínimo 30 anos e que os veículos hoje, saem de fábricas suportando mais carga, o que tecnicamente, como não houveram atualizações no dimensionamento, provocam nos pavimentos existentes uma potencial destruição.

Atualmente, os métodos utilizados para dimensionamento foram desenvolvidos sobre bases empíricas ou mecanística-empírica.

A realização de dimensionamento de pavimentos através dos métodos empíricos, é executada pela caracterização provenientes da observação da evolução das condições do pavimento. Os parâmetros utilizados de campo estão relacionados a variáveis tais como: a repetição das cargas e a resistência dos materiais. O problema deste método é o campo de aplicação, pois apenas pode ser reproduzido fielmente em locais com condições climáticas relativamente semelhantes às do local onde foram realizadas as observações de base (Franco, 2007).

Os métodos mecanístico-empíricos, por sua vez, são aqueles que adotam modelos teóricos sobre o comportamento estrutural das camadas do pavimento, similar ao que é feito com estruturas de madeira, aço e concreto. Neste método são

aplicados conceitos da mecânica dos pavimentos, e calibram ou parametrizam as características mecânicas dos materiais por meio do conhecimento empírico, laboratorial ou de pista. Portanto, esses métodos combinam modelos teóricos (mecanísticos) com os métodos empíricos, uma vez que são necessários observar propriedades que variam com o tempo e com as condições ambientais. Assim, são necessárias a aplicação de fatores de calibração campo-laboratório sobre os modelos básicos desenvolvidos (Franco, 2007).

Apesar da existência do dimensionamento mecanístico-empírico, no Brasil ainda é adotado somente o método empírico, que não contempla teorias sobre o comportamento elástico dos pavimentos, e atualmente tem sido fator importante para prever a ruptura por fadiga do pavimento. (CNT, 2017)

Desta forma, o presente trabalho visa determinar o dimensionamento de uma via utilizando o método mecanístico-empírico, uma vez que o método empírico utilizado não acompanhou a evolução da frota de veículo e do conhecimento dos materiais atuais.

A metodologia de 1966 do extinto Departamento Nacional de Rodagem (DNER), é ainda hoje utilizado para dimensionamento de pavimentos. O método em questão apresenta caráter generalista, tratando várias situações específicas de forma simplificada. Os modelos generalistas levam a uma análise superficial sobre situações e especificidades de diversas variáveis que influenciam no desempenho funcional e estrutural de um pavimento (Coutinho, 2011).

A metodologia mecanística-empírica apresenta um caráter específico, capaz de determinar e analisar os pavimentos através de suas características potencializando o desempenho funcional e estrutural (Coutinho, 2011). Assim, os projetos de pavimentos asfálticos estão em permanente evolução, seus conceitos em contínua discussão, através da disponibilização frequente de novos dados de pesquisas científicas.

1.2 Objetivo geral

Comparar as características de um pavimento flexível, dimensionado pelo Método de Dimensionamento Nacional (MEDINA) frente ao método empírico do DNIT, de um segmento da Rodovia BR 282/ SC – Via expressa.

1.3 Objetivos específicos

Os seguintes objetivos específicos serão realizados para alcançar o objetivo geral da pesquisa:

- a) Estudar o desenvolvimento do dimensionamento de pavimentos flexíveis pelos métodos do DNIT e mecanístico-empírico;
- b) Revisar o estudo de tráfego elaborado para o projeto de pavimentação do segmento da Rodovia BR-282/ SC pelo método do DNIT, para adotar valor de tráfego e CBR do subleito para a pesquisa;
- c) Dimensionar o mesmo segmento da Rodovia em análise, pelo Método de Dimensionamento Nacional (MEDINA);
- d) Comparar as referidas metodologias quanto aos resultados obtidos nos dimensionamentos executados.

1.4 Organização da Pesquisa

- O Capítulo 1 apresenta a justificativa da pesquisa, os objetivos gerais e específicos e a organização da pesquisa;
- O Capítulo 2 descreve a revisão bibliográfica dos temas pertinentes ao desenvolvimento desta pesquisa;
- O Capítulo 3 trata da revisão bibliográfica referente aos métodos de dimensionamentos utilizados;
- O Capítulos 4 e 5 tratam, respectivamente da caracterização da área de estudo e a metodologia proposta para que os objetivos gerais e específicos sejam atingidos satisfatoriamente;
- O Capítulo 6 apresenta as análises e os resultados dos dimensionamentos das camadas de pavimentos propostos pelo método DNIT e mecanístico-empírico;
- O Capítulo 6 apresenta as considerações gerais e finais da pesquisa e sugestões de trabalhos futuros;
- Por fim, são mostrados as referências bibliográficas e os apêndices que embasaram esta pesquisa científica.

Figura 1 - Organização da Pesquisa

INTRODUÇÃO	PAVIMENTAÇÃO BRASILEIRA	DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS	CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	MÉTODO DA PESQUISA	ANÁLISES E RESULTADOS	CONCLUSÕES	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E APÊNDICES
Justificativa do estudo	Modal rodoviário	Método DNER	Mapa de situação	Dimensionamento pelo método DNER (1981)	Verificação do estudo de tráfego	Considerações Finais	
Objetivo Geral	Pavimento	Método Mecanístico-Empírico	Estudos elaborados	Dimensionamento pelo método MeDiNa	Dimensionamento do pavimento	Sugestões para trabalhos futuros	
Objetivos Específicos					Verificação do dimensionamento pelo método Mecanístico-Empírico		
Organização da Pesquisa			Projetos elaborados		Elaboração de um dimensionamento pela nova proposta		

Fonte: Elaborado pelo autor.

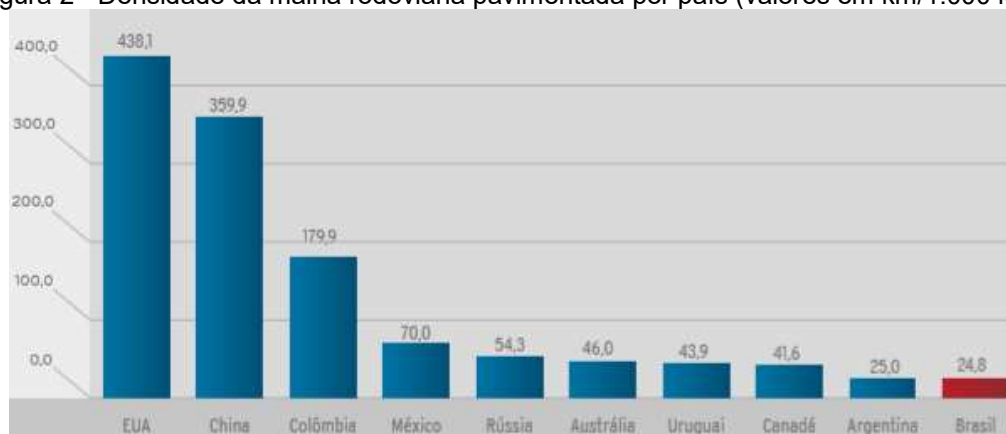
2 PAVIMENTAÇÃO BRASILEIRA

O transporte rodoviário brasileiro é o responsável pelo tráfego de aproximadamente 90% dos passageiros e de mais de 60% das cargas que circulam no país, assim a qualidade do pavimento das rodovias tem impacto direto no desempenho do transporte rodoviário e na economia do Brasil. Desta forma, uma rodovia não deve possuir más condições, visto que esta situação provoca o aumento no custo operacional do transporte, além de reduzir o conforto e a segurança dos passageiros e das cargas, e causando também prejuízos ambientais.

Segundo o Sistema Nacional de Viação – SNV (2015), a malha rodoviária nacional compreende 212.866 km de rodovias pavimentadas, contrapondo-se a 1.365.426 km de rodovias não pavimentadas.

A densidade da malha rodoviária pavimentada total no Brasil, apesar de apresentar números crescentes ainda é muito pequena, principalmente quando comparada a de outros países de dimensão territorial semelhante. O Brasil possui uma densidade de, aproximadamente, 24,8 km de rodovias pavimentadas para cada 1.000 km² de área, extensão bastante inferior à densidade rodoviária de países como Estados Unidos, China e Colômbia, conforme pode ser observado na Figura 2 - Densidade da malha rodoviária pavimentada por país (valores em km/1.000 km²).

Figura 2 - Densidade da malha rodoviária pavimentada por país (valores em km/1.000 km²)



Fonte: Elaborado pela CNT com base em dados da SNV (2015) e da Central Intelligence Agency (CIA).

Apesar da grande importância do modal rodoviário no Brasil, observa-se que os investimentos para manutenção e construção dessa infraestrutura são insuficientes ou pouco efetivos, uma vez que as condições dos pavimentos das

rodovias, em geral, estão insatisfatórias. Assim, para que esse transporte seja realizado de forma eficiente, é necessário que os pavimentos das rodovias estejam em boas condições, oferecendo economia, segurança e conforto aos usuários.

De acordo com a Pesquisa CNT de Rodovias 2016, 48,3% da extensão total das rodovias avaliadas apresentam algum tipo de problema no pavimento, tendo sido avaliado como regular, ruim ou péssimo. Essa condição aumenta o custo operacional do transporte rodoviário de cargas em 24,9%, em média, devido à redução da durabilidade dos componentes veiculares e ao aumento do tempo de viagem e do consumo desnecessário de combustível. Esse uso excedente de combustível, em 2016, somente em razão da má condição do pavimento, foi estimado em quase 775 milhões de litros de diesel, o que gera para o transportador um dispêndio adicional de R\$ 2,34 bilhões. Nessas condições, os veículos ainda são obrigados a trafegar em velocidade mais baixa, o que pode facilitar ações de roubos de cargas e assaltos a passageiros. Isto aumentou muito o valor dos fretes, devido as taxas extras para o seguro das mercadorias.

Neste sentido, a Figura 3 - Malha rodoviária brasileira, apresenta a composição da malha rodoviária brasileira, de acordo com a gestão e o tipo de rodovia.

Figura 3 - Malha rodoviária brasileira



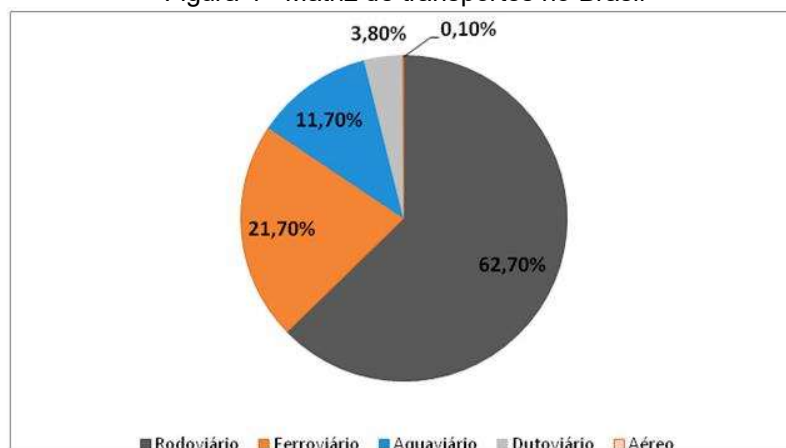
Fonte: Elaborado pela CNT, através de dados coletados pela SNV (2016)

2.1 Modal rodoviário

O transporte rodoviário é o principal meio para o deslocamento de cargas dentro do Brasil. Neste sistema, praticamente qualquer tipo de carga pode ser transportado por qualquer via. Desta forma, ocorre a interação entre as regiões, até mesmo aquelas mais afastadas (PEREIRA e et al., 2013). Na Figura 4 - Matriz de transportes no Brasil é possível observar a representatividade do transporte rodoviário no Brasil, frente a outros modais.

Embora o Governo Federal venha aumentando os investimentos nos outros modais, o rodoviário ainda é responsável por quase 63% do TKU (toneladas por quilômetro útil) movimentado no País, tendo transportado, em 2008, mais de 770 bilhões de TKU, volume 14% superior ao registrado em 2006, segundo estudo do Instituto ILOS.

Figura 4 - Matriz de transportes no Brasil



Fonte: ILOS, 2010

Na elaboração do projeto de uma rodovia, deve-se considerar aspectos qualitativos tanto na construção da infraestrutura, quanto da superestrutura. A infraestrutura rodoviária denominada sub-leito deve receber obras de terraplenagem, para permitir a construção das outras camadas que compõem o pavimento e também garantir suporte para a superestrutura que será assentada. (PEREIRA e et al., 2013).

A superestrutura, denominada de pavimento é projetada para transmitir cargas dos veículos para o sub-leito. É necessário verificar o conforto e a segurança que a rodovia trará aos usuários, desta forma, deve-se procurar executar uma estrutura durável e com qualidade desde a infraestrutura até a superestrutura (PEREIRA e et al., 2013).

Quanto aos tipos de veículos que podem circular no modal rodoviário, o Código de Trânsito Brasileiro conferiu ao Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), a competência para fixar as especificações básicas para o licenciamento e a circulação de veículos nas vias públicas, estabelecendo os seguintes limites:

- Largura máxima: 2,60 m;
- Altura máxima: 4,40 m;
- Comprimento total:
 - Veículos simples: 14,00 m;
 - Veículos articulados: 18,15 m;
 - Veículos com reboque: 19,80 m;
- Peso bruto total por unidade ou combinação de veículo: 45 t;
- Peso bruto por eixo isolado: 10 t;
- Peso bruto por conjunto de dois eixos em tandem: 17 t;
- Peso bruto por conjunto de dois eixos não tandem: 17 t;
- Peso bruto por conjunto de três eixos em tandem: 25 t;
- Peso bruto por conjunto de dois eixos com total de seis pneumáticos interligados por suspensão especial: 9 t a 13,5 t.

2.1.1 Características influentes para utilização do sistema rodoviário

No sistema rodoviário, a principal vantagem é o tipo de transporte porta-a-porta (*door to door*), uma vez que neste sistema, a mercadoria é buscada do exportador e entregue ao importador. Como a matriz de transporte brasileira é em sua maior parte rodoviária, existe uma grande agilidade no transporte de produtos em pequenos trechos, aumentando a flexibilidade de rotas e horários. Além de que, se comparada com o sistema ferroviário, por exemplo, o custo de investimento em infraestrutura é considerado baixo (FILHO, 2004).

Um dos problemas enfrentado pelo sistema rodoviário é a pequena capacidade de carga, quando comparado por exemplo, aos modais aquaviário e ferroviário, isto deve-se ao fato, de que sua carga é limitada em peso e volume (PEREIRA e et al., 2013). O modal rodoviário consome 80% de energia no setor de transportes, e seus veículos poluem consideravelmente o meio ambiente devido ao excesso consumo de combustíveis fósseis, contribuindo para os altos índices de congestionamentos, acidentes de trânsito e degradação ambiental.

2.1.2 Classificação funcional das rodovias

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) a classificação funcional das rodovias considera a importância demográfica, política e econômica das localidades servidas, além de volume de tráfego e a distância média de viagem. O objetivo é agilizar e flexibilizar o tráfego nas vias, assim por exemplo, se o percurso é longo e o tempo de viagem importante, busca-se uma rodovia que proporcione alta mobilidade. No final ou início de qualquer percurso se trafega por rodovias que permitam o acesso aos locais desejados, e quando entre dois pontos, a rodovia deve permitir conjugação entre mobilidade e acesso (CNT, 2018).

Desta forma, a classificação funcional é realizada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) da forma que segue:

- a) Sistema arterial: Sua função é proporcionar um adequado nível de mobilidade para volumes intensos de tráfego, ela se encarrega de atender ao tráfego internacional e interestadual. Classifica-se em principal, primária ou secundária.
- b) Sistema coletor: Destina-se a gerar mobilidade dentro de uma específica área, tem a incumbência de integrar o sistema local com o arterial. Classifica-se como primário ou secundário.
- c) Sistema local: Este sistema tem como intuito prover acesso ao tráfego de localidades pequenas a rodovias maiores. Pode ser descontínuo, porém não deixa de se integrar à rede.

2.1.3 Classificação técnica das rodovias

A classificação técnica de uma rodovia é diferente para cada país ou entidade responsável. No caso brasileiro, as normas de classificação técnica são de responsabilidade do DNIT, e tiveram como fundamentos as normas praticadas nos Estados Unidos (LEE, 2017).

As normas estabelecidas pelo DNIT, classificam tecnicamente as rodovias através de dois critérios: volume de tráfego e o relevo da região que deverá ser atravessado.

O volume de tráfego é definido pela quantidade de veículos que passam em uma seção, num intervalo de tempo. Esta grandeza é que expressa a demanda que a rodovia solicita. Este critério adequa a classificação da rodovia em diferentes classes se projeto. Nas classes de projeto são estabelecidas as velocidades diretrizes mínimas em função do relevo da região atravessada (LEE, 2017).

A velocidade diretriz é a máxima velocidade permitida em que um trecho pode ser percorrido em estado de segurança, considerando as limitações impostas pelas características geométricas da rodovia.

Quanto ao critério do relevo, a AASHTO (1994) sugere as seguintes classificações:

- a) Relevo plano: neste terreno a distância de visibilidade é suficiente longa, permitindo menores dificuldades construtivas e consequentemente custos menos elevados;
- b) Relevo ondulado: locais onde existe a necessidade da ocorrência de cortes e aterros constantes para a conformidade do perfil da rodovia. O terreno também impossibilita o maior desenvolvimento dos alinhamentos horizontais e verticais;
- c) Relevo montanhoso: ocorrência de mudanças abruptas de elevações, com demandas de cortes e aterros para a conformação do perfil da rodovia.

Atualmente as normas do DNIT estabelecem cinco classes técnicas:

- a) Classe 0 (zero) ou classe especial: classe com melhor padrão técnico. Projetos de rodovias em pistas duplas, com separação física entre as pistas e com controle de acessos e com características de via expressa;
- b) Classe 1 (um): subdividida em IA e IB. IA é a rodovia em pista dupla em que ocorre controle parcial de acessos e classificação realizada através de estudos de capacidade da rodovia. Enquanto que a IB, corresponde a rodovia de pista simples, utilizada para atender demandas superiores de 200 veículos por hora ou 1400 veículos por dia;
- c) Classe II (dois): Rodovia de pista simples suficiente para atender demanda de 700 veículos por dia à 1400 veículos por dia.
- d) Classe III (três): Rodovia de pista simples suficiente para atender demanda de 300 veículos por dia à 700 veículos por dia.

- e) Classe IV (quatro): Subdividida em IVA e IVB. IVA é rodovia de pista simples em que a demanda na data de abertura está prevista entre 50 veículos por dia e 200 veículos por dia. Enquanto que a IVB está reservada para demandas inferiores à 50 veículos por dia.

As classes de projeto, com os critérios de classificação técnica e as velocidades diretrizes mínimas recomendadas podem ser observadas na Tabela 1 - Classificação técnica das rodovias.

Tabela 1 - Classificação técnica das rodovias

Classe de projeto	Características	Critérios de classificação técnica	Velocidade de projeto (km/h)		
			Plano	Ondulado	Montanhoso
0	Via expressa – Controle total de acessos	Decisão administrativa	120	100	80
I	A Pista dupla – Controle parcial de acesso	Projeto em pista simples resultando em níveis de serviços inferiores ao aceitável	100	80	60
	B Pista simples	Volume de tráfego maior que 200 vph ou 1400 vpd			
II	Pista simples	Volume de tráfego projetado entre 700 vpd a 1400 vpd	100	70	50
III	Pista simples	Volume de tráfego projetado entre 300 vpd e 700 vpd	80	60	40
IV	A Pista simples	Tráfego na data de abertura entre 50 vpd a 200 vpd	60	40	30
	B Pista simples	Tráfego na data de abertura menor de 50 vpd			

Fonte: LEE, 2017.

2.2 Pavimento

O pavimento pela literatura é definido como uma estrutura composta por camadas de diferentes materiais, que atendam estrutural e operacionalmente ao tráfego, de forma durável e com menor custo possível, devendo-se considerar diferentes horizontes de tempo para execução de serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação.

Bernucci *et. al.* (2010) e Medina (2005), atribuem as seguintes funções aos pavimentos:

- Resistir e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego.
- Resistir aos esforços horizontais, tornando a superfície de rolamento mais durável.
- Melhorar as condições de rolamento quanto à segurança e ao conforto.

Dessa forma, para desempenhar a sua função, o pavimento deve ser durável, confortável e seguro. A durabilidade da estrutura está relacionada à capacidade de resistir às ações do tráfego e do intemperismo. A segurança está relacionada às condições do pavimento.

2.2.1 Tipos de Pavimentos

Convencionalmente, os pavimentos geralmente são classificados em flexíveis ou rígidos, sendo que a composição do primeiro é realizada com o emprego de material asfáltico enquanto que no segundo é composto por cimento Portland.

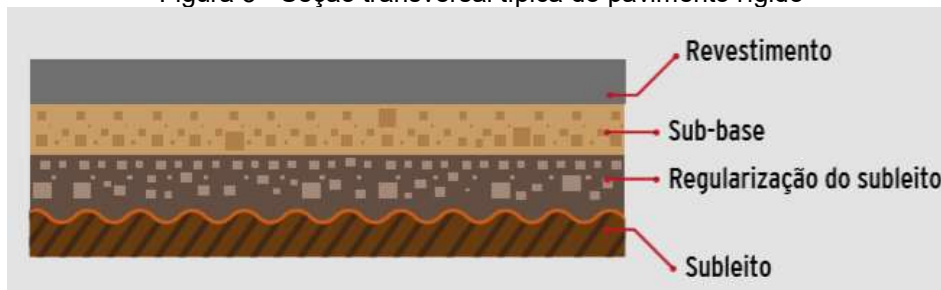
Entretanto, há liberdade para se utilizar camadas flexíveis e rígidas em uma mesma estrutura, sendo classificados por alguns estudos como pavimentos semirrígidos ou semiflexíveis (CNT, 2017).

a) Pavimentos rígidos

Os pavimentos rígidos são constituídos por camadas que trabalham essencialmente à tração. O dimensionamento deste tipo de pavimento é baseado nas propriedades resistentes de placas de concreto, as quais são apoiadas em uma cama de transição, a sub-base. Estas estruturas, por serem de cimento Portland, efetivamente são pouco deformáveis e com uma vida útil maior (FEDERAL e et al.,

[S.d.]). Na Figura 5 - Seção transversal típica do pavimento rígido é apresentado uma seção típica do pavimento.

Figura 5 - Seção transversal típica do pavimento rígido



Fonte: CNT, 2017.

b) Pavimentos flexíveis

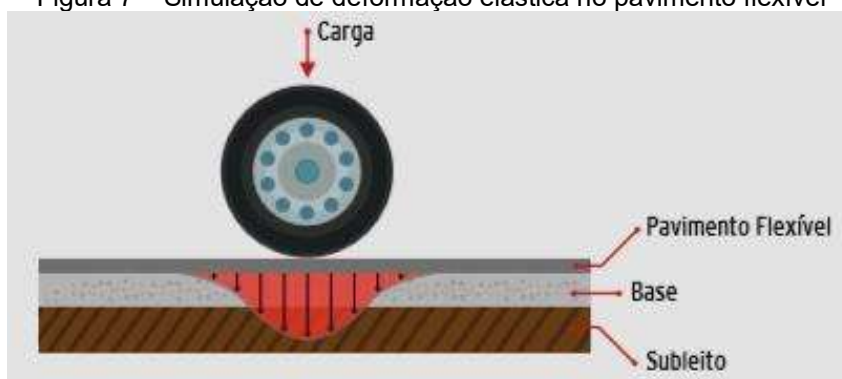
Elemento de estudo deste trabalho, os pavimentos flexíveis são compostos por diversas camadas, no qual todas sofrem deformação elástica significativa. A carga decorrente do tráfego se distribui de forma equivalente entre elas, formando um campo de tensões nas proximidades do ponto de aplicação da carga, como pode ser visto na Figura 6 - Seção transversal típica do pavimento flexível, desta forma, exige-se que as camadas do pavimento sejam mais espessas, com o objetivo de proteger o subleito do pavimento (CNT, 2017).

Figura 6 - Seção transversal típica do pavimento flexível



Fonte: CNT, 2017.

Figura 7 – Simulação de deformação elástica no pavimento flexível



Fonte: CNT, 2017.

c) Pavimentos semirrígidos

Estes pavimentos são caracterizados pela utilização de bases cimentadas sob revestimento betuminoso que são solicitados a tração. A estrutura é composta por: Revestimento, Base Cimentada, Sub-Base Granular, Reforço do Subleito e Subleito. A diferença para os pavimentos flexíveis está na presença de ligantes asfálticos em sua base, como o objetivo de alcançar maior rigidez que seja suficiente para as cargas de tráfego (PEREIRA, 2013).

2.2.2 Estrutura dos Pavimentos

Para Balbo (2007) a estrutura do pavimento tem a função de receber os esforços do tráfego e transmitir de forma aliviada, para as camadas subjacentes. As cargas aplicadas sobre um pavimento flexível geram importantes tensões de tração na face interior das camadas betuminosas e importantes tensões verticais de compressão no topo do solo de fundação. Os esforços servem para designar os critérios de ruína – nomeados de critério de fadiga, que são utilizados para o dimensionamento dos pavimentos.

Ultrapassando os limites diminui-se a qualidade dos pavimentos, colocando em risco as condições estruturais e funcionais que devem ser asseguradas durante o período de vida útil. Desta forma, para garantir as condições mínimas uma seção típica de pavimento possui seis camadas principais, sendo elas: regularização do subleito, subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento asfáltico.

a) Regularização do subleito

Não constitui propriamente uma camada de pavimento, contudo, é uma operação necessária que pode ser reduzida em corte do leito implantado ou em sobreposição a este, de camada com espessura variável. O objetivo da realização é corrigir e regular a superfície do subleito (Manual de Pavimentação – DNIT, 2006).

b) Subleito

O subleito é o terreno de fundação em que é apoiado o pavimento. Responsável por absorver definitivamente os esforços verticais causados pelo tráfego é formado por material natural consolidado e compactado, ou por material de empréstimo compactado (Balbo, 2007; Branco, 2006; CNT, 2017).

c) Reforço do subleito

Acima do subleito é encontrado a camada de reforço de subleito. Utilizada somente quando necessário é construída em cima do subleito já regularizado. A espessura longitudinal é variável e depende do dimensionamento do pavimento. Sua aplicação é realizada, quando a capacidade do subleito não é suficiente para atender o dimensionamento, e desta forma ao invés de realizar-se gastos com custos mais elevados para construção de camadas mais espessas, faz-se uso do reforço do subleito, atenuando assim a capacidade de suporte do subleito. Suas características técnicas devem ser superiores ao material empregado no subleito (Balbo, 2007; Branco, 2006; CNT, 2017).

d) Sub-base

Camada complementar à base, executado quando a camada da base exigida for muito espessa. Os materiais utilizados nessa camada, podem ser os mesmos empregados na base desde que possuam características superiores às do material de reforço e inferiores às do material da base. Exerce função complementar da base, resistindo e distribuindo os esforços verticais, e quando necessários são

capazes de efetuar a drenagem de infiltrações e executar o controle da ascensão capilar da água (Balbo, 2007; Branco, 2006; CNT, 2017).

e) Base

Sua capacidade estrutural está relacionada às propriedades de resistência e rigidez dos materiais empregados. Balbo (2007), consta que na realidade, pode-se considerar o pavimento apenas constituído de base e revestimento, visto que as camadas de sub-base e reforço do subleito, são uma complementação da base. A base é a camada destinada no pavimento a receber os esforços oriundo do tráfego, transmiti-lo as camadas inferiores e de certa forma, resistir a estes esforços. É sobre esta camada, que é construído o revestimento (Branco, 2006; CNT, 2017).

f) Revestimento asfáltico

A aplicação do revestimento melhora as condições de rolamento quanto ao tráfego e à segurança. Esta camada recebe diretamente a ação do tráfego, sendo assim, deve possuir capacidade de resistir aos desgastes, para aumentar a durabilidade do pavimento. Sua estrutura deve ser suficiente para impedir movimentação horizontal, além de resistir as deformações elásticas ou plásticas, desagregação dos componentes e perda de compactação. Sua superfície deve ser tanto quanto possível impermeável (Balbo, 2007; CNT, 2017).

3 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS

Atualmente no mundo, existem diversas formas de dimensionar os pavimentos, sejam eles flexíveis ou rígidos. O método de dimensionamento leva em consideração as camadas existentes, as condições do subleito, as condições climáticas e ambientais e as propriedades dos materiais empregados. Como já mencionado, apesar dos diversos modelos de dimensionamentos, as técnicas são classificadas em modelos empíricos e mecanísticos-empíricos, ou seja, levam as características provenientes da observação ou a partir de modelos teóricos sobre comportamento estrutural.

Em função de que esta pesquisa busca comparar os métodos de dimensionamento, faz-se necessário a revisão dos modelos empíricos e mecanísticos-empíricos atualmente mais empregados no Brasil.

3.1 Método do DNER (1981)

O Manual de Pavimentação desenvolvido pelo DNER foi proposto pelo engenheiro Murilo Lopes de Souza, sendo sua primeira edição publicada no ano de 1960. Porém, com o surgimento de novos materiais, técnicas e equipamentos, houve uma atualização, lançada em 1996. Hoje, o manual encontra-se em sua terceira edição, sob a coordenação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), do DNIT. Apesar, das diversas atualizações recorridas do manual, ainda conforme verificado por Bezerra Neto (2004), não há modificações significativas quanto ao seu conteúdo técnico, que continua sendo essencialmente empírico.

Balbo (2007), Medina (1997) e Motta (1991) concluíram que o método de dimensionamento empírico adotado pelo DNIT é uma variante do Método de Dimensionamento do CBR, utilizando um eixo-padrão de 18.000 libras (8,2 t). Concebido pelo Instituto Militar de Engenharia (IME), e que além disso, o modelo utiliza como base um trabalho publicado pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (U. S. Army Corps of Engineers - USACE), juntamente com conclusões obtidas na pista experimental da Associação Americana de Rodovias e Transporte (American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO).

Os materiais empregados em cada camada do pavimento, devem conforme proposto por SOUZA (1981), adotar algumas premissas com relação às propriedades de suporte, sendo uma delas a capacidade do suporte, determinado em função do parâmetro CBR através de ensaios obtidos em laboratório. Foram a partir de ensaios e testes que ocorreram a determinação das faixas granulométricas em que os materiais granulares devem estar para serem utilizadas em cada nível do pavimento, observados na Tabela 2 - Condições e restrições gerais para dimensionamento do pavimento.

Tabela 2 - Condições e restrições gerais para dimensionamento do pavimento

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

Fonte: DNIT, 2016.

Souza (1981) propõe o levantamento do tráfego, a partir do número de veículos, faixas, tipo de veículo (comercial ou passeio) e tipo de eixo. O tráfego considerado no dimensionamento do pavimento é obtido através do número equivalente N, que expressa o volume do tráfego real da rodovia, durante o período de projeto escolhido P, a partir da ideia de eixo padrão. Ou seja, o volume total de tráfego independente dos tipos de veículo da frota, são convertidos em um volume de tráfego equivalente com eixo padrão de 8,2 toneladas. Assim, determina-se o número N, como:

$$N = 365 * P * V_m * FV * FR \quad (Eq. 1)$$

Onde:

N - Número de operações do eixo padrão;

P - Período de projeto em anos;

V_m - Volume médio diário de tráfego durante a vida de projeto;

FV - Fator de veículo da frota;

FR - Fator climático regional.

O fator climático regional tem por objetivo ajustar o número N, em função do clima em que será realizado o dimensionamento. Na pista da AASHTO o cálculo

variou de 0,2 a 5,0 – variação de baixos teores de umidade a ocorrência de materiais totalmente saturados). No Brasil, tem-se adotado $FR = 1,0$ para todo o país, valor que foi calculado a partir de pesquisas desenvolvidas pelo IPR/DNER.

A partir da composição do número N , determina-se a espessura da camada de revestimento (R), com base na experiência de campo e nos valores recomendados após testes realizados na pista experimental da ASSHTO. O DNER (1981), assim elaborou a Tabela 3 - Espessuras mínimas de revestimentos betuminosos para verificação da espessura R do pavimento.

Tabela 3 - Espessuras mínimas de revestimentos betuminosos	
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, 2016

No dimensionamento do pavimento pelo método do DNER (1981), faz-se inicialmente o dimensionamento da espessura total do pavimento, para posteriormente determinar o tipo de revestimento e pôr fim a espessura das demais camadas que compõem o pavimento. As espessuras das camadas de pavimento são representadas pelas letras R , B , h_{20} e h_n - conforme Figura 8 - Espessura das camadas com base no CBR, que respectivamente são, as espessuras das camadas de revestimento, base, sub-base e reforço de subleito, enquanto que as letras H_{20} , H_n , e H_m representam respectivamente a espessura dos pavimentos sobre a sub-base, sobre o reforço do subleito e sobre o subleito.

Figura 8 - Espessura das camadas com base no CBR



Fonte: Elaborado pela CNT, 2016.

Na determinação da espessura total do pavimento, BALBO (2007) propõe a equação 2 como solução do dimensionamento. A equação foi determinada a partir dos ábacos construídos por Souza (1981), que levam em consideração a determinação de valores do número N e CBR. O ábaco pode ser observado na Figura 9 - Ábaco para dimensionamento das espessuras do pavimento.

$$H_{eq} = 77,67 * N^{0,0482} * CBR^{-0,598} \quad (Eq. 2)$$

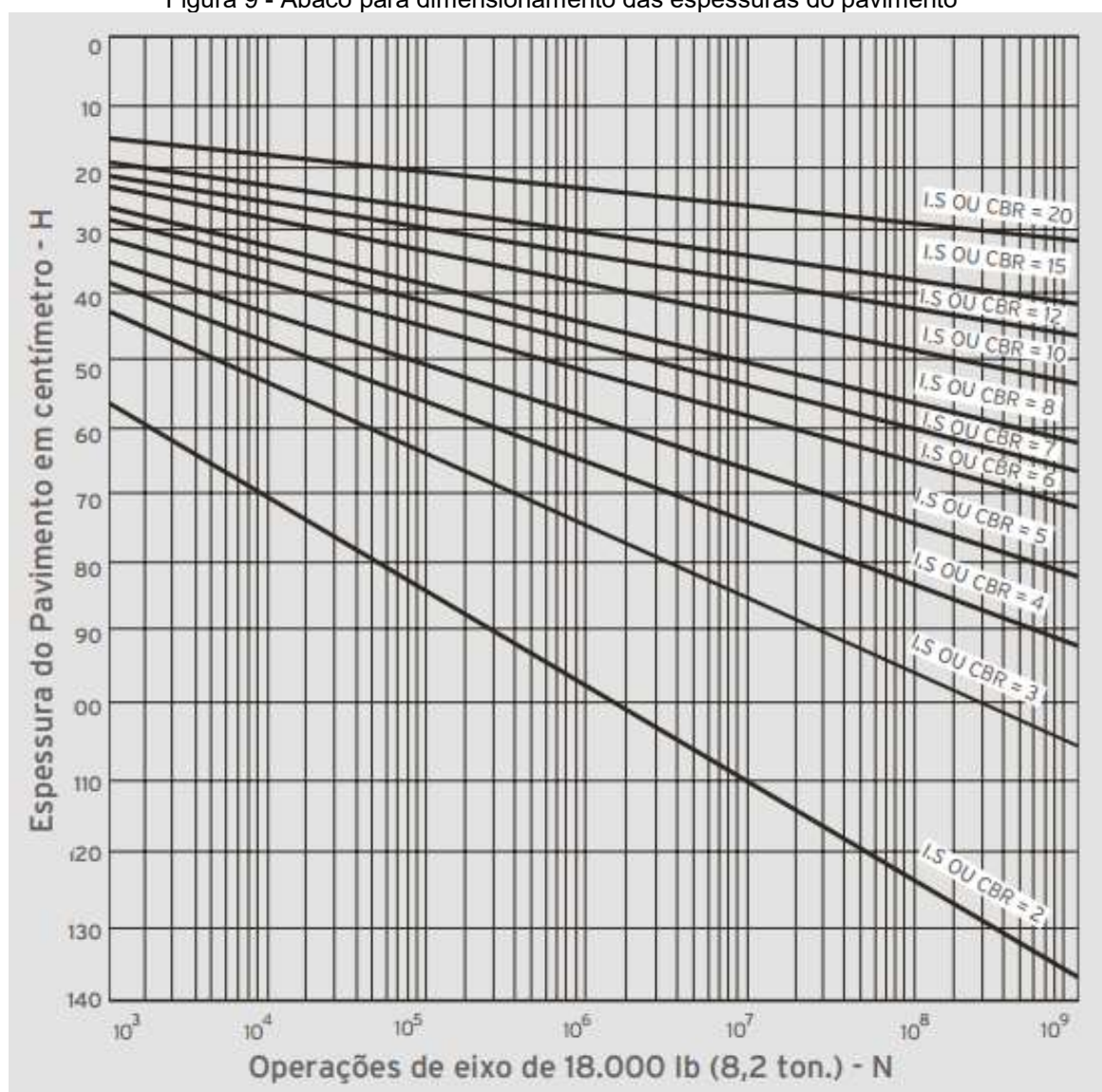
Onde:

H_{eq} – Espessura equivalente em cm;

N – Número de repetições de carga;

CBR – Valor da camada de suporte.

Figura 9 - Ábaco para dimensionamento das espessuras do pavimento



Fonte: DNIT, 2016.

As demais camadas são determinadas através dos cálculos sucessivas das inequações que seguem abaixo:

$$R * K_r + B * K_b \geq H_{20} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s \geq H_n \quad (\text{Eq. 4})$$

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_s + h_n * K_n \geq H_m \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

K_r , K_b , K_s e K_n – são os coeficientes de equivalência estrutural dos materiais do pavimento;

R , B , h_{20} e h_n – são os valores das espessuras das camadas de revestimento, base, sub-base e reforço do subleito;

H_{20} , H_n e H_m – são os valores das espessuras das camadas equivalentes, sobre a sub-base, reforço do subleito e subleito.

Como observado para a determinação do cálculo das espessuras das camadas é necessário aplicar o Coeficiente de Equivalência Estrutural (K), este é um número que relaciona a espessura necessária da camada constituída de material padrão com a espessura equivalente da camada constituída com o material que a irá compor de fato. SOUZA (1981) determinou os coeficientes a partir da composição dos materiais utilizados, assim a Tabela 4 - Coeficientes de equivalência estrutural demonstra os Coeficientes de Equivalência Estrutural (K) para cada tipo de camada.

Tabela 4 - Coeficientes de equivalência estrutural

Componentes dos pavimentos	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 penetra	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm²	1,70
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm² e 28 kg/cm²	1,40
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm² e 21 kg/cm²	1,20

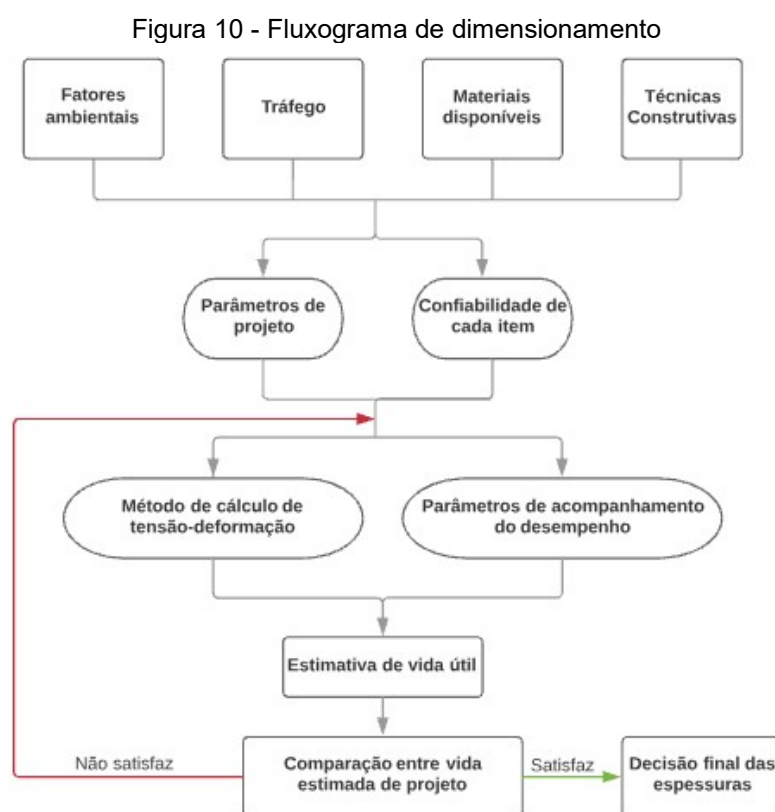
Fonte: DNIT, 2016.

No dimensionamento elaborado pelo DNER (1981), o CBR da sub-base deve ser no mínimo igual a 20, pois considera-se que a espessura do pavimento necessário para protege-la é determinada como se fosse 20.

O Manual de Pavimentação do DNIT (BRASIL, 2016) recomenda que os dimensionamentos sejam realizados em outros métodos do tipo mecanístico-empírico a fim de considerar no dimensionamento o problema da ruptura por fadiga das camadas asfálticas.

3.2 Método mecanístico-empírico

Diante dos diversos acompanhamentos da vida útil dos pavimentos, verificou-se que o principal mecanismo de degradação dos pavimentos é o trincamento por fadiga do revestimento de concreto asfáltico. Assim, aos pavimentos novos devem ser dados atenção aos mecanismos de degradação: fadiga das camadas de maior rigidez, afundamento de trilha de roda e ruptura plástica (Medina, Motta, 2003). Em 1991, Mota propôs o esquema da Figura 10 - Fluxograma de dimensionamento, que deve ser utilizado para o dimensionamento de pavimentos por via mecanística. Observa-se que no fluxograma são mostrados os dados de entrada, o processamento do dimensionamento e os critérios de decisão.



Fonte: Medina e Motta (2003).

No fluxograma um dos parâmetros de entrada é o fator climático – clima da região, este dado deve ser definido uma vez que o clima condiciona a deformabilidade dos materiais e a escolha do tipo de ligante asfáltico empregado (Medina, Motta; 2003).

A etapa do cálculo de tensões é necessária devido as ações provenientes do tráfego. Os métodos de cálculo consideram o comportamento de tensão-deformação tanto elástico-linear, quanto elástico-não linear. O tipo de comportamento deve ser considerado a partir da análise dos materiais que comporão a estrutura a ser dimensionada (Medina, Motta; 2003).

3.2.1 Proposições de um método mecanístico de dimensionamento de pavimento asfáltico desenvolvido na COPPE

Diante do estágio atual de conhecimento da mecânica dos pavimentos, permite-se considerar que apesar de o Método do DNIT ser de importância para a história da pavimentação, hoje exige-se um dimensionamento que considere os diferentes efeitos da mecânica de degradação. Assim, a COPPE – Instituto Alberto Luiz de Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, busca o desenvolvimento de um método que possa considerar essas mecânicas não considerado no método vigente do DNIT.

a) Fatores ambientais

A rigidez das misturas asfálticas é uma função da temperatura. Quando ocorre a variação da rigidez modifica-se a distribuição de tensões, a vida de fadiga e a resistência à deformação plástica. Para os anteprojetos, ou a escolha das temperaturas de ensaios de resistência à fadiga de misturas asfálticas, pode-se recorrer às normais climatológicas das regiões geográficas do país (Medina, Motta; 2003).

Motta (1991), sugere que as temperaturas dos revestimentos sejam adotadas da seguinte forma:

- A. Temperatura média anual do pavimento: 10 ° C acima da temperatura média do ar;
- B. Temperatura média das máximas do pavimento: 30 ° C acima da temperatura máxima do ar;
- C. Temperatura média das mínimas do pavimento: igual a temperatura mínima do ar.

As temperaturas do pavimento são determinantes para a escolha do tipo de ligante asfáltico que deve ser utilizado, pois deve-se escolher um ligante asfáltico que seja mais adequado para a faixa de temperatura de trabalho. Nos ensaios, normalmente a temperatura utilizada é de 25 ° C, isto ocorre para possibilitar a comparação de uma temperatura de referência para o dimensionamento à fadiga (Medina, Motta; 2003).

Outro fator climático a ser considerado é o teor de umidade do subleito. A deformabilidade e a resistência ao cisalhamento do subleito também depende desses fatores. Estudos demonstram que quando mais degradado o pavimento, maior a possibilidade de acesso de água as camadas do subleito, o que enfraquece a estrutura do pavimento. Desta forma, o dimensionamento deve ser resistente para evitar que ocorra a deterioração facilitada do pavimento (Medina, Motta; 2003).

b) Condição limite de suporte quanto à ruptura plástica

Nos dimensionamentos de pavimentos supõem-se que as cargas das rodas dos pavimentos sejam estáticas, contudo sabe-se que a atuação da carga ocorre de forma dinâmica, deste modo deve-se considerar uma espessura de pavimento que evite as tensões de cisalhamento da carga estática da roda mais pesada (Motta, 1991).

O laboratório Koninklijke/Shell utilizou equipamentos vibratórios para a investigação do módulo de elasticidade dinâmico das rodovias e aeródromos. O módulo de elasticidade dinâmico é dado pela equação:

$$E = k * d * V^2 \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

E – Módulo de elasticidade dinâmico;

d – densidade do material da equação;

V – Velocidade de propagação do meio elástico;

k – Tipo de onda e do coeficiente de Poisson do solo (próximo de 3).

Existem outros métodos para o cálculo da capacidade de suporte, tanto por método de fundações estratificadas ou pela utilização de programas de computação. A utilização de um dos métodos deve ser realizada para comparar o valor obtido da tensão vertical com a tensão de ruptura plástica para o dimensionamento.

c) Tráfego

Para os pavimentos asfálticos o número N ainda será utilizado independentemente do método de dimensionamento, pois este número consegue transformar as diferentes cargas de eixo, em um número equivalente. Estudos elaborados pela Federal Aviation Administration – FAA (1995) e da Portland Cement Association – PCA (1966 e 1984), demonstram que é necessário um fator laboratório-campo, para considerar a repetição de carga mais espaçadas no campo, permitindo a recuperação por solda parcial das fissuras, bem como a recuperação da variabilidade de incidência lateral nas trilhas de roda e o envelhecimento no campo do ligante asfáltico.

Atualmente, diversos programas para a realização de um dimensionamento mecânico vêm considerando a utilização do número de repetições N.

d) Deformabilidade elástica do pavimento

Na proposição da COPPE a utilização de programas que apresentam o comportamento não-linear nos ensaios dinâmicos foram utilizados, pois verificou-se que a maioria dos materiais de pavimentação apresentam este comportamento de tensão-deformação.

Motta (1991) com o objetivo de desenvolver uma tese que pudesse divulgar a metodologia mecânica, gerou alguns ábacos para permitir aos usuários verificar a influência dos fatores de projeto nas tensões de deformações geradas. Nos ábacos gerados é possível obter parâmetros de deflexões, deformações específicas de tração e diferentes tensões na face inferior do revestimento, e tensão vertical no subleito.

Nas gerações dos ábacos considerou-se carregamento correspondente ao eixo padrão, a carga da roda aplicada numa superfície de raio de 10,6 cm e pressão de contato de 5,6 kgf/cm².

e) Deformabilidade plástica no cálculo de afundamento de trilha de roda

Motta (1991) propõem que as deformações referentes a trilha de roda podem sofrer contribuição de todos os materiais que fazem parte da estrutura do

pavimento, assim o cálculo da deformação permanente pode ser executado pela seguinte expressão:

$$d_{p_{total}} = \sum (\varepsilon_{p(i)} * h_{(i)}) \quad (Eq. 7)$$

O método proposto pela COPPE, utiliza a expressão para determinação da deformação permanente em função do número N de aplicação executada. No dimensionamento mecanístico, todas as formas de ruptura são verificadas a partir de ensaios dinâmicos e cálculo de tensões, esquecendo-se o CBR como parâmetro de seleção, controle dos materiais e a avaliação das camadas de subleito.

Estudos demonstram que os valores admissíveis para o afundamento da trilha de roda que não prejudique a segurança estão entre 10 mm e 20 mm, admite-se 13 mm para pavimentos com alto volume de tráfego. Percebe-se que com o crescimento do volume e do peso do tráfego as deformações permanentes da camada do revestimento asfáltico têm sofrido aumento, deste modo nota-se um problema na dosagem da mistura, assim a deformação do revestimento asfáltico também é considerada na contribuição de todas as camadas (Medina, Motta; 2003).

f) Aplicação do critério da confiabilidade

A confiabilidade é definida como a probabilidade de um sistema de equipamento ou estrutura desempenhar com satisfação a função que se destina e com a duração estabelecida. Determina-se da forma expressa genericamente:

$$C = P[(R - \sigma) \geq 0] \quad (Eq. 8)$$

Onde:

P - Probabilidade em função de R e σ ;

R - Tensão resistente;

σ - Tensão de ruptura.

Quando R for menor que σ há ruptura. A confiabilidade da estrutura depende da dispersão dos valores que assume os dois termos. A escolha do grau de confiabilidade depende do risco que se pode admitir da deterioração do pavimento sob o prazo de vida do projeto. A recomendação da AASHTO (1993), quando aos níveis de confiabilidade C (%), podem ser realizados conforme Tabela 5 - Confiabilidade em função da classe da rodovia.

Tabela 5 - Confiabilidade em função da classe da rodovia

Classe funcional	Zona urbana	Zona rural
Interestadual	85 a 99,9	80 a 99,9
Artéria principal	80 a 99	75 a 95
Coletiva	80 a 95	75 a 95
Vienal	50 a 80	50 a 80

Fonte: Medina, Mota (2003)

3.2.2 Roteiro para dimensionamento mecânico-empírico

O dimensionamento do pavimento pelo método mecânico-empírico pode ser realizado conforme as diretrizes abaixo, proposto por Medina e Motta (2003):

- Considerar o N previsto pelas informações do estudo de tráfego.
- Considerar os módulos de resiliência e as deformações permanentes dos materiais.
- Definir a mistura asfáltica utilizada em função da temperatura do local da obra, dosando conforme a necessidade da condição da obra e utilizar o módulo de resiliência da mistura escolhida.
- Adotar uma estrutura inicial, definindo as espessuras das camadas, por tentativa e através dos materiais disponíveis.
- Calcular os estados de tensões e deformações atuantes da estrutura do pavimento, através das características de tensões dos materiais, seja ela, elástico-linear ou não-linear). Para o cálculo das tensões e deformações pode-se utilizar programas de computadores capaz de realizar a análise.
- Comparar os valores obtidos das tensões e deformações em função dos critérios estabelecidos pelo número N de projeto.
- Para verificação da vida útil, calcular a deflexão proveniente do afundamento da trilha de roda e comparar com os valores admissíveis. A expressão da deflexão admissível pode ser expressa pela equação proposta por Preussler (1983):

$$C = P[(R - \sigma) \geq 0] \quad (\text{Eq. 9})$$

h) Se os critérios 6 e 7 forem atendidos, o pavimento é considerado dimensionado. Caso contrário as espessuras devem ser alteradas e as tensões e deformações recalculadas.

4 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

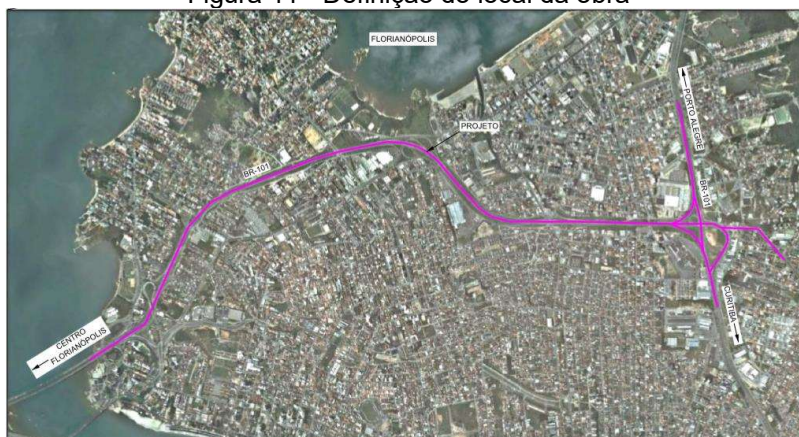
O trabalho desenvolvido tem por objetivo comparar os resultados obtidos pelos métodos de dimensionamento dos pavimentos empíricos e mecanísticos-empíricos. Para isto utilizou-se como referência e base os resultados obtidos em um projeto de pavimentação elaborado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, que foi dimensionado pelo método do DNIT. Segue assim a caracterização do objeto da pesquisa.

Todas as informações contidas neste trabalho referente aos projetos, foram extraídos da coletânea de projetos executivos elaborado pelo DNIT, disponíveis no site para consulta pública. A concepção dos memoriais descritivos foram elaborados pelos termos contratuais firmados entre o Consórcio Via Expressa, formados pelas empresas SOTEPA – IGUATEMI – ESSE e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT.

4.1 Mapa de situação

A pesquisa elaborada será realizada a partir dos memoriais elaborados para a construção da 3ª faixa de tráfego em cada sentido, na obra da Via Expressa (Rodovia BR 282/SC), no trecho de Florianópolis – Fronteira Brasil/Argentina (Ponte s/ Rio Peperiguaçu), no subtrecho Florianópolis – Entrada BR-101, do segmento km 0 ao km 5,6, com extensão total de 5,6 km, conforme Figura 11 - Definição do local da obra.

Figura 11 - Definição do local da obra



Fonte: FEDERATIVA e et al.

Figura 12 - Mapa de situação



Fonte: FEDERATIVA e et al.

4.2 Estudos realizados

Para elaboração do projeto executivo de estradas e pavimentação diversos estudos devem ser executados para possibilitar a execução dos serviços. Não diferente de outras obras, segue os estudos realizados para o projeto executivo da Obra da 3ª faixa de tráfego na Via Expressa, Florianópolis:

- A. Estudo de Tráfego
- B. Estudo Geológico
- C. Estudo Hidrológico
- D. Estudo Topográfico
- E. Estudo Geotécnico
- F. Estudo de Fundação de Aterro

Cabe salientar que para a elaboração deste trabalho, somente o Estudo de Tráfego, mostra informações pertinentes para a elaboração da pesquisa.

4.2.1 Estudo de Tráfego

O estudo de tráfego foi realizado, buscando estimar a previsão do tráfego futuro para o ano de 2020, em que se prevê que a primeira etapa da obra esteja realizada. Assim os dados são apresentados na Tabela 6 – Previsão de tráfego futuro – Segmento 1: km 0,0 (Pontes) – km 3,1 (Av. Ivo Silveira) e Tabela 7 – Previsão de tráfego futuro – Segmento 2: km 3,1 (Av. Ivo Silveira) – km 5,6 (BR-101).

Tabela 6 – Previsão de tráfego futuro – Segmento 1: km 0,0 (Pontes) – km 3,1 (Av. Ivo Silveira)

Ano	MOTO	CARRO	CAM/ ONIBUS	C.PESADO	ESPECIAIS	Total
Taxa Cresc.	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
2012	8.788	85.129	6.005	111	25	100.058
2013	9.052	87.684	6.186	115	26	103.063
2014	9.323	90.314	6.371	118	27	106.153
2015	9.603	93.023	6.562	122	28	109.338
2016	9.891	95.814	6.759	125	29	112.618
2017	10.188	98.689	6.962	129	29	115.997
2018	10.493	101.649	7.171	133	30	119.476
2019	10.808	104.699	7.386	137	31	123.061
2020	11.132	107.840	7.607	141	32	126.752

Fonte: FEDERATIVA e et al.

Tabela 7 – Previsão de tráfego futuro – Segmento 2: km 3,1 (Av. Ivo Silveira) – km 5,6 (BR-101)

Ano	MOTO	CARRO	CAM/ ONIBUS	C.PESADO	ESPECIAIS	Total
Taxa Cresc.	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
2012	11.111	88.337	8.005	1.328	0	108.781
2013	11.445	90.987	8.245	1.368	0	112.045
2014	11.788	93.717	8.493	1.409	0	115.407
2015	12.142	96.529	8.747	1.451	0	118.869
2016	12.506	99.424	9.010	1.495	0	122.435
2017	12.881	102.407	9.280	1.540	0	126.108
2018	13.268	105.479	9.559	1.586	0	129.892
2019	13.666	108.644	9.845	1.634	0	133.789
2020	14.076	111.903	10.141	1.683	0	137.803

Fonte: FEDERATIVA e et al.

A partir do estudo de tráfego as seguintes características operacionais foram extraídas:

Tabela 8 - Características operacionais			
Extremidades	Posição Quilométrica	Início: km 0	Início: km 3 + 100
		Final: km 3 + 100	Final: km 5 + 290,81
Tráfego médio diário	Ano de abertura 2020	126,752	137,806
Número "N" USACE	Ano de 2020	1,17 x 10 ⁷	2,28 x 10 ⁷

Fonte: FEDERATIVA e et al.

4.3 Projetos elaborados pelo método do DNIT

Os seguintes projetos foram elaborados para a obra e coletados dos memoriais descritivos disponíveis:

- A. Projeto Geométrico
- B. Projeto de Terraplenagem

O projeto de terraplenagem foi elaborado de acordo com a Instrução de Serviço IS – 209: Projeto de Terraplenagem, vigente no DNIT, a partir dos Estudos Topográficos e Estudos Geotécnicos, bem como dos elementos do Projeto Geométrico.

- C. Projeto de Drenagem e OAC

Para os Projeto de Drenagem e Obras de Arte Correntes, foram utilizados os critérios e as metodologias recomendadas pelo Manual de Drenagem de Rodovias-2006 – DNIT.

- D. Projeto de Pavimentação/ Restauração
- E. Projeto de Sinalização

O Projeto de Sinalização da rodovia BR-282/SC, trecho conhecido como Via Expressa, seguiu as recomendações da Instrução de Serviço IS-215, vigente no DNIT. Este projeto foi elaborado de acordo com as disposições do CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO, Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 e seus anexos: MANUAL BRASILEIRO DE SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO, volumes I, II, IV de 2007 e volume III de 2014, também está de acordo com o MANUAL DE SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA – 2010 e MANUAL DE SINALIZAÇÃO DE OBRAS E EMERGÊNCIAS – 2010, vigentes no Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT

- F. Projeto de Obras Complementares e Contenção

Cabe ainda informar que os projetos importantes para a pesquisa são os projetos geométricos e de pavimentação/ restauração.

4.3.1 Projeto Geométrico

O projeto geométrico seguiu as recomendações da Instrução de Serviço IS-208, vigente no DNIT.

- a) Classificação da rodovia

A. Classificação Funcional

- A classificação funcional, de acordo com o tipo de serviço que oferece e a função que exerce, é do tipo Sistema Arterial Primário, com as seguintes finalidades:
- Proporcionar alto nível de mobilidade para grandes volumes de tráfego;
- Promover ligação de cidades e outros centros geradores de tráfego capazes de atrair viagens de longa distância;
- Integrar municípios, estados e países vizinhos;
- Proporcionar acesso a distâncias razoáveis a todas as áreas desenvolvidas e de grande densidade, por meio de adequado espaçamento interno;
- Servem às viagens inter-regionais e inter-estaduais, atendendo essencialmente à função mobilidade.

B. Classificação Técnica

A classe adotada para o projeto da rodovia foi a I-A, rodovia com pista dupla e controle parcial de acessos, com as seguintes características: Rodovia Arterial com grande demanda de tráfego, que permite maior tolerância no que diz respeito às interferências causadas por acessos mais frequentes.

b) Veículo de Projeto

Para fins de dimensionamento geométrico da via foram adotados os veículos de projeto: tipo CO (caminhões e ônibus convencionais) tipo SR (semirreboque) e o tipo O (ônibus interestadual). Estes veículos possuem as seguintes características:

CO – Veículos comerciais rígidos (não articulados) compostos de unidade tratora simples. Abrangem os caminhões e ônibus convencionais, normalmente de dois eixos e seis rodas;

O – Veículos comerciais rígidos de maiores dimensões. Incluem-se ônibus de longo percurso e de turismo, bem como caminhões longos;

SR – Representa os veículos comerciais articulados, compostos de uma unidade tratora simples e um semirreboque.

c) Seção Transversal

A seção transversal existente, de cada pista, possui duas faixas de rolamento com 3,60 m de largura cada e acostamentos externos variando entre 1,60 m e 2,50 m.

O presente projeto alargará os acostamentos existentes para a implantação da 3ª faixa de rolamento, que ficará com largura de 3,60 m.

As faixas de aceleração e desaceleração projetadas possuirão largura de 3,00 m.

Os viadutos existentes não serão alargados.

d) Projeto Planialtimétrico

Por se tratar de alargamento da seção transversal o projeto manteve as características planialtimétricas da rodovia existente.

4.3.2 Projeto de Pavimentação/ Restauração

Neste item estão contempladas as informações para a implantação da 3ª faixa projetada de pavimento flexível.

A camada de revestimento do alargamento da pista de rolamento será composta por: Camada de Concreto Betuminoso Usinado a Quente com Asfalto Modificado por Polímero (CBUQ-SBS 60/85);

As camadas de base e sub-base para o pavimento asfáltico serão compostas em camadas de brita graduada (compactada a 100% do Proctor Modificado) e macadame seco.

A implantação do alargamento obedecerá a seguinte sequência de trabalho:

- 1) Remoção de revestimento betuminoso e 0,53 m de espessura da camada granular nos últimos 0,30 m de largura do acostamento existente;

- 2) Execução de 0,38 m de sub-base em macadame seco, com largura média de 3,38 m;

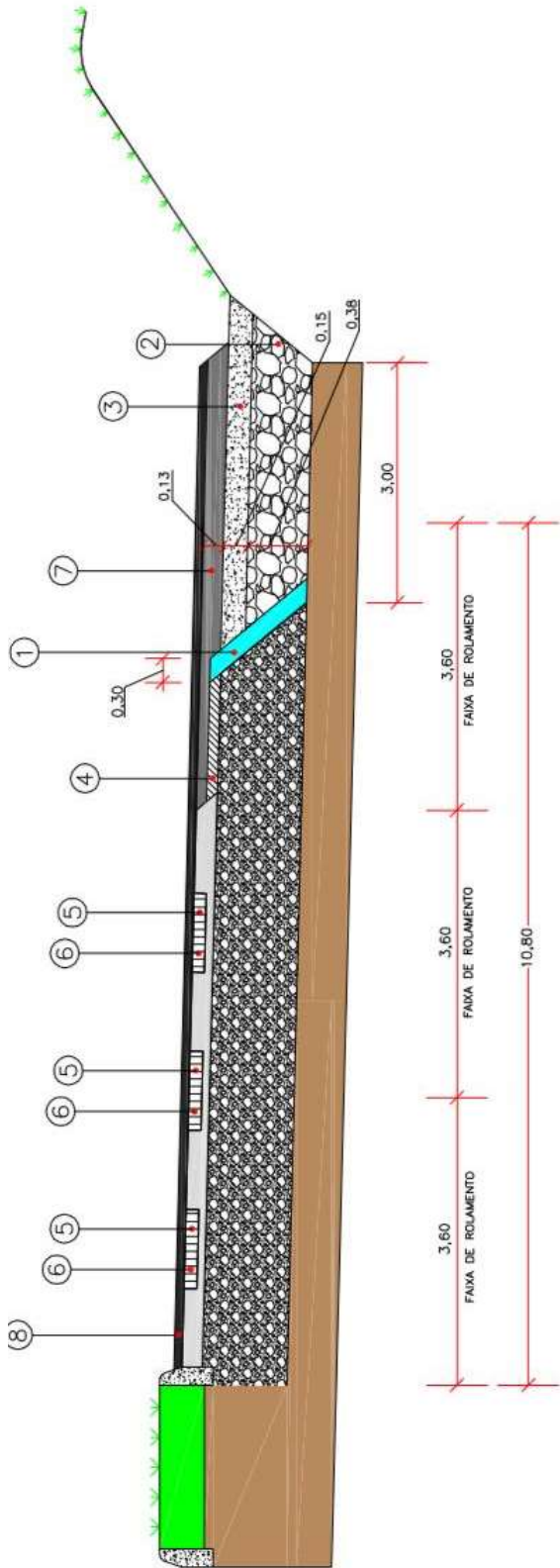
- 3) Execução de 0,15 m de base em brita graduada simples, com largura média de 3,91 m;
- 4) Fresagem contínua do revestimento do acostamento remanescente;
- 5) Fresagem descontínua, com espessura de 0,05 m, do revestimento das faixas de rolamento existentes;
- 6) Recomposição pós-fresagem em CBUQ com polímero, com espessura de 0,05 m;
- 7) Execução de CBUQ com polímero na 3ª faixa implantada, com largura média de 5,60 m, nivelando com a cota do revestimento da pista existente;
- 8) Execução de micro revestimento asfáltico com polímero, com espessura de 0,025 m em toda a largura das 3 faixas da pista de rolamento.

Tabela 9 – Estrutura adotada para a 3ª faixa

Camadas dos pavimentos	Espessuras
REVESTIMENTO	
Microresvestimento asfáltico com polímero	2,50 cm
Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) com polímero	13,00 cm
BASE	
Brita Graduada Simples (BGS)	15,00 cm
SUB-BASE	
Macadame Seco (MS)	38,00 cm

Fonte: FEDERATIVA e et al.

Figura 13 – Seção de Pavimentação/ Restauração



DETALHAMENTO EXECUTIVO

- 1) REMOÇÃO DO REVESTIMENTO BETUMINOSO MAIS 53 cm DE CAMADA GRANULAR NOS ÚLTIMOS 30 cm DE LARGURA DO ACOSTAMENTO.
- 2) EXECUÇÃO DE 38 cm DE SUB-BASE EM MACADAME SECO, COM LAGURA MÉDIA DE 3,38 m.
- 3) EXECUÇÃO DE 15 cm DE BASE EM BRITA GRADUADA, COM LARGURA MÉDIA DE 3,91 m.
- 4) FRESAGEM CONTÍNUA DO REVESTIMENTO DO ACOSTAMENTO.
- 5) FRESAGEM DESCONTÍNUA, COM ESPESURA DE 5 cm, DO REVESTIMENTO DAS FAIXAS DE ROLAMENTO EXISTENTES.
- 6) RECOMPOSIÇÃO PÓS FRESAGEM EM CBUQ COM POLÍMERO, COM ESPESURA DE 5 cm.
- 7) EXECUÇÃO DE CBUQ COM POLÍMERO NA 3ª FAIXA IMPLANTADA, COM LARGURA DE 3,60 m, NIVELANDO COM A COTA DO REVESTIMENTO DA PISTA EXISTENTE.
- 8) EXECUÇÃO DE MICRO REVESTIMENTO ASFÁLTICO COM POLÍMERO – ESPESURA DE 2,5 cm.

CONVENÇÕES:

- MICRO REVESTIMENTO COM POLÍMERO
- CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ) COM POLÍMERO
- BRITA GRADUADA (BG)
- MACADAME SECO (MS)
- REVESTIMENTO EXISTENTE
- CAMADA GRANULAR EXISTENTE

- REMOÇÃO DA ESTRUTURA
- FRESAGEM DESCONTÍNUA
- FRESAGEM CONTÍNUA
- SOLO COMPACTADO
- CANTIERO

Fonte: FEDERATIVA e et al.

5 MÉTODO DA PESQUISA

A metodologia utilizada nesta pesquisa será realizada a partir da consulta e da análise dos projetos e memoriais descritivos elaborados na execução da terceira faixa da Via Expressa da Rodovia BR 282/SC, com o objetivo de levantar os dados para a realização de um novo dimensionamento do pavimento através da proposta mecanística.

A abordagem da pesquisa realizada tem aspectos descritivos e exploratórios. A pesquisa exploratória segundo Severino (2007, p.123), “busca apenas levantar informações sobre determinado objeto, delimitando assim um campo de trabalho, mapeando as condições de manifestação desse objeto”. Tratando do aspecto descritivo, por utilizar técnicas de coleta de dados e realizar análises e interpretações.

Para a elaboração deste trabalho, foi necessário a pesquisa bibliográfica. A pesquisa bibliográfica é sempre necessária na maioria dos trabalhos científicos, pois é partir dela que se conhece o tema e as produções científicas existentes. Para Severino (2007, p.122) “a pesquisa bibliográfica é aquela que se realiza a partir do registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, em documentos impressos, como livros, artigos, teses, etc”.

O método bibliográfico além de ser necessário nas pesquisas, é um dos itens mais importantes, pois é a partir dele que outros trabalhos poderão ser realizados tanto na vida acadêmica como fora dela.

Além do aspecto bibliográfico esta pesquisa está enquadrada em pesquisa documental, segundo Bauren e Raupp (2004, p.89), “baseia-se em materiais que ainda não receberam um tratamento analítico ou que podem ser reelaborados de acordo com o objetivo da pesquisa”. Severino (2007, p.122), ainda acrescenta que:

“tem-se como fonte documento no sentido amplo, ou seja, não só de documentos impressos, mas sobretudo de outros tipos de documentos, tais como jornais, fotos, filmes, gravações, documentos legais. Nesses casos, os conteúdos dos textos ainda não tiveram nenhum tratamento analítico, são ainda matéria-prima, a partir da qual o pesquisador vai desenvolver sua investigação e análise.”

Quanto a abordagem do problema, a pesquisa é considerada quantitativa-qualitativa. Richardson (1999 apud BEUREN e RAUPP, 2004, p.92) menciona que “os estudos que empregam metodologia qualitativa podem descrever a complexidade de

determinado problema, analisar a interação de certas variáveis, compreender e classificar processos dinâmicos vividos”.

Quanto ao lado quantitativo, a pesquisa segundo Richardson (1999, p.70 apud BEUREN e RAUPP, 2004, p.92):

“caracteriza-se pelo emprego de quantificação tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas, desde as mais simples como percentual, média, desvio padrão, às mais complexas, como coeficiente de correlação, análise de regressão, etc.”

Na pesquisa inicialmente realizou-se a fundamentação bibliográfica, buscando caracterizar os métodos de dimensionamento tanto do DNIT quanto da proposta mecanística. Em seguida foi escolhido o local da pesquisa, no qual seria reconsiderado outro método de dimensionamento.

Com a definição do local, realizou-se as análises referentes ao dimensionamento existente e em seguida propõem a elaboração de um novo dimensionamento pela vertente mecanística. A seguir são definidos os passos para a análise da pesquisa, com posterior avaliação e resultados necessários.

5.1 Dimensionamento da estrutura do pavimento pelo método do DNER (1981)

Analisando a coletânea de projetos e memoriais elaborados pela empresa Consórcio Via Expressa, responsável pelo dimensionamento do pavimento flexível realizado no local da obra referente a execução da 3ª faixa de tráfego de cada sentido da Via Expressa - Rodovia BR 282/SC é possível levantar o perfil do dimensionamento do pavimento executado.

Vale ressaltar que diante do projeto é possível determinar as camadas dos pavimentos utilizados bem como a espessuras dessas camadas. A análise do projeto é necessária para determinar o método de dimensionamento realizado, as espessuras dos pavimentos utilizados e os tipos dos materiais utilizados. Diante destes levantamentos a determinação da estrutura do pavimento pode ser comparada com o método de dimensionamento mecanístico-empírico, fundamentado nesta pesquisa.

É necessário mencionar que a elaboração do projeto contou com diversos estudos realizados. Dentre esses estudos destaca-se o estudo de tráfego, já mencionado no item 4.2.1 desta pesquisa. O estudo de tráfego elaborado visa determinar o número de veículos que circulam por uma via em um determinado

período, constituindo instrumento da Engenharia de Tráfego para atender às finalidades do planejamento de uma rodovia (PESQUISA, 2006).

Diante do exposto da determinação do estudo de tráfego realizado é possível determinar o número equivalente N em eixo padrão de 8,2 toneladas, necessário para o dimensionamento do método do DNER (1981) e do método mecanístico-empírico. Para a determinação do número N, será utilizado a Equação 1 definida nesta pesquisa.

A previsão do estudo de tráfego realizado e consequentemente do número N foram determinados para o ano de 2020.

O número equivalente “N” é essencial para realização do dimensionamento de pavimentos pelo método do DNER (1981). É através do número “N” que a espessura equivalente do pavimento é determinada. Os estudos constantes na coletânea de memorial elaborado para a execução da obra da via Expressa, BR 282/SC, elaborou um estudo de tráfego para determinação do número “N”.

Na Tabela 8 - Características operacionais, consta a determinação do estudo de tráfego elaborado pelo grupo Consórcio Via Expressa, determinando o número N para a via nos trechos de 0 km a 5 + 290,81 km.

Diante do número N do estudo de tráfego, é necessário somente verificar as características dos materiais empregados para o dimensionado do método DNER (1981). Vale ressaltar, que o dimensionamento previsto no memorial não será dado para comparação desta pesquisa, uma vez que os materiais empregados para o dimensionamento não foram expostos nos memoriais. Deste modo, para a pesquisa serão coletados dados bibliográficos e o dimensionamento do pavimento será baseado nesses dados, possibilitando a comparação entre os métodos de dimensionamentos citados nesta pesquisa.

Os materiais empregados na estrutura do pavimento dimensionado podem ser observados na Tabela 9 – Estrutura adotada para a 3ª faixa.

Vale lembrar que, o número N junto do CBR do sub-leito são necessários para determinar a espessura equivalente do pavimento. A espessura equivalente, neste caso tratada, é a soma escalar do produto do coeficiente estrutural correspondente ao material de cada camada pela espessura da camada em questão: reforço de subleito, base, sub-base, revestimentos e eventuais tratamentos superficiais.

Para o dimensionamento é necessário a determinação do CBR do sub-leito. Nos memoriais da Consórcio Via Expressa, existe uma relação com a determinação do CBR do sub-leito em diversos pontos da rodovia. Os resultados foram recolhidos e são demonstrados a seguir.

Tabela 10 – Dados de CBR de alguns pontos da Rodovia BR 282/SC

CBR (Lado direito)		CBR (Lado esquerdo)	
Km	CBR (%)	Km	CBR (%)
0.400	5.30	0.735	20.90
0.520	16.80	0.750	13.60
0.630	9.90	0.750	6.50
0.630	4.60	0.815	6.90
0.635	4.70	0.815	11.90
0.690	11.60	0.895	8.50
0.700	19.60	0.895	3.20
0.763	5.70	0.895	17.00
0.770	4.40	0.950	11.40
0.830	5.50	0.950	6.90
0.845	3.20	0.950	26.60
0.885	3.50	1.030	3.80
0.890	9.30	1.040	9.50
0.890	6.80	1.270	15.20
1.250	7.30	1.275	8.50
1.250	2.80	1.315	12.00
1.285	5.60	1.320	4.70
1.310	2.20	1.360	3.30
1.375	4.80	1.375	4.00
1.380	3.70		

Fonte: Federativa et al.

Na tabela acima, são demonstrados os resultados do CBR do sub-leito em diferentes quilômetros da rodovia para o lado esquerdo e direito da via. Como é possível observar o CBR do sub-leito varia muito entre os quilômetros, logo é necessário estimar um valor padrão para poder continuar com a análise dos dados e dimensionar o pavimento. Outra observação importante é que dos dados foram calculados somente até os primeiros 1,5 km da Rodovia e foram a base para a determinação do CBR. Considerando que os dados coletados compõem uma população, será utilizado métodos estatísticos para a determinação de uma amostra e assim realizar o cálculo do N de projeto. O cálculo N do projeto será utilizado como

o menor valor médio encontrado entre a amostra e a população, para critérios da segurança de determinação do número N.

Para a determinação da amostra será utilizado a distribuição normal com base na média populacional dos dados coletados, no qual será necessário o desvio padrão da população, o nível de confiabilidade e a margem de erro (Levin, 1987). Os cálculos elaborados para a determinação da amostra foram realizados através da ferramenta de cálculo Excel.

O tamanho da amostra necessário será definido a partir da equação abaixo.

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} * \sigma}{E} \right)^2 \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

n - número de indivíduos da amostra;

$Z_{\alpha/2}$ - Valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado.

σ - Desvio-padrão populacional da variável estudada;

E – Margem de erro máximo de estimativa, igual a média populacional.

Os valores de confiança mais utilizados e os valores de Z correspondentes, são determinados pela Tabela 11 - Valores críticos associados ao grau de confiança na amostra.

Tabela 11 - Valores críticos associados ao grau de confiança na amostra

Grau de confiança	α	Valor Crítico $Z_{\alpha/2}$
90%	0.100	1.645
95%	0.050	1.960
99%	0.010	2.575

Fonte: Levin, 1987.

Para a amostra, como será verificado uma questão para dimensionamento será necessário prever um nível de confiabilidade elevado. Assim, para viabilizar o cálculo e permitir a consideração de uma amostra populacional dos dados, será definido a margem de confiabilidade em 95%. Com a margem de confiabilidade definida é possível determinar um CBR que represente totalmente as características do solo.

Os dimensionamentos serão realizados para os valores obtidos nos estudos de tráfegos dos dois trechos. Os dimensionamentos serão executados a partir de dados retirados da bibliografia dos materiais empregados na via expressa.

Com o valor N e o CBR da sub-base, consultando o ábaco da Figura 9 - Ábaco para dimensionamento das espessuras do pavimento, é possível determinar a espessura total do pavimento.

Os dados levantados serão somente os utilizados pelo projeto, visto que a análise final considerará somente a verificação das diferenças entre as espessuras dos pavimentos, para ser possível determinar se a mudança no método de dimensionamento influenciará em menor ou maior espessura das camadas que compõe a pavimentação.

Para permitir realizar um novo dimensionamento pelo método DNER (1981) é necessário conhecer o CBR dos materiais empregados. Assim, consultou-se dados bibliográficos existentes para a determinação do CBR.

O dado de CBR da brita graduada simples, foi obtido através de especificações registradas pelo extinto DER (Departamento de Estradas de Rodagem), que informa que o CBR dos materiais utilizados para base deve ser superior a 80%.

Valores básicos para o CBR de macadame seco podem ser extraídos de dados da Arteris, considerando que valores mínimos de CBR não podem ser menores que 20%.

Quanto ao CBR do sub-leito, este foi considerado através dos ensaios realizados em diversos pontos da Rodovia BR 282/SC e será utilizado a média encontrada, conforme definido no item de verificação do número N.

Desta forma, tem-se os dados na tabela abaixo.

Tabela 12 - CBR dos materiais utilizados	
Material	CBR (%)
Macadame Seco	20
Brita Graduada Simples	80
Subleito	6.87

Fonte: Coletado pelo autor em bibliografias descritas.

Definido o CBR dos materiais e através das inequações 3, 4 e 5 estudadas no método do DNER (1981), preparou-se uma rotina de cálculo na ferramenta Excel capaz de determinar as espessuras referente ao número N encontrado no estudo de tráfego para cada trecho, uma vez que o número N do projeto é diferente do número N do estudo de tráfego.

Assim, através do material e dos coeficientes determinado na Tabela 4 - Coeficientes de equivalência estrutural é possível determinar as espessuras constituintes do pavimento flexível.

5.2 Dimensionamento do pavimento pelo método mecanístico-empírico (MeDiNa)

Quando os dimensionamentos pelo método DNER (1981), forem concluídos, possuindo o número N de projeto elaborado e o número N do estudo de tráfego, é possível verificar se os parâmetros para o método mecanístico-empírico são atendidos para os dimensionamentos, e ainda caso não, elaborar uma estrutura de pavimento que seja totalmente atendida pelo método mecanístico-empírico.

Cabe informar que os dimensionamentos pelo método mecanístico-empírico serão executados através do software MEDINA e que o resultado será comparado com o pavimento construído e com os elaborados pela rotina de cálculo executada pelo Excel, elaborado pelo autor.

Assim, será verificado qual dos dimensionamentos elaborados atende as condições mínimas do método mecanístico-empírico. Tem-se então três estruturas para serem testadas:

- Verificação do 1º trecho, com o Número N do estudo de tráfego do 1º Trecho.
- Verificação do 2º trecho, com o Número N do estudo de tráfego do 2º Trecho.

No método mecanístico-empírico será realizado o dimensionamento somente pelo número N do estudo de tráfego, uma vez que o projeto executado tem número N diferente do estudo de tráfego. Contudo, o pavimento executado será analisado, visto que um dos objetivos da pesquisa é analisar se o projeto da BR 282/SC será atendido pelo método mecanístico-empírico.

O software MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos Asfálticos) foi distribuído pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) sob coordenação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

O software tem como objetivo o projeto mecanístico-empírico de estrutura de pavimentos, o que significa que ele combina uma análise estrutural de engenharia-

mecânica (análise elástica em multicamadas) como modelo de ruptura obtidos de ensaios laboratoriais e calibrados com dados de campo de forma empírica.

Embora o software seja mais racional que procedimentos anteriores, o julgamento de engenharia ainda é necessário para a produção de projetos válidos e adequados, técnica e economicamente.

A seguir serão demonstrados o funcionamento do programa para possibilitar a execução das análises.

a) Iniciando um projeto

Na tela inicial é apresentada a aba Estrutura, conforme Figura 14 - Aba de Estrutura do software MeDiNa que permite entrar com as informações do projeto. Esta aba é formada por quatro elementos: (1) Área para identificação do projeto, (2) tabela relativa à entrada de dados da estrutura do pavimento, (3) tabela relativa à entrada de dados sobre as informações do tráfego e (4) painel onde o programa MeDiNa registra o resumo dos resultados das análises ou dos dimensionamentos.

Figura 14 - Aba de Estrutura do software MeDiNa

MeDiNa - v.1.0.2.1 - ago/2018 - versão de avaliação

Projeto Editar Análise Ajuda

(1) ESTRUTURA MODELAGEM RESULTADOS VERSÃO DE AVALIAÇÃO - DISPONÍVEL ATÉ 15/09/2018

RESPONSÁVEL: Nome do autor ou dos autores do projeto EMPRESA: Nome da empresa projetista

PROJETO: Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc. MODO: 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 - Gnaise 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

(2)

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	1370
FV:	1,000
N anual total:	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 Eq:	5,00e+06

(3)

(4)

Projeto novo NÍVEL <A>

Fonte: Software MeDiNa.

b) Modo de projeto

Antes de iniciar o projeto é necessário definir em qual modo o programa irá tratar os dados. Atualmente, dois métodos estão disponíveis:

- A. Pavimento Novo: Modo para elaboração de projetos de pavimentos novos, onde as propriedades das camadas são obtidas por ensaios de laboratório.
- B. Projeto de Reforço: Modo para elaboração de projeto de reforço, onde as propriedades das camadas existentes são obtidas por meio de retroanálise de bacias deflectométricas.

Para selecionar o Modo de projeto, deve-se acessar o Menu Projeto e na sequência Reforço, e optar pela inserção dos dados manualmente.

c) Identificando o projeto

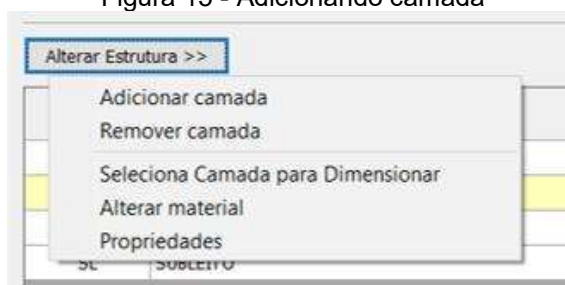
Após a criação do novo projeto, deve-se realizar as informações que devem ser preenchidas na identificação do projeto.

d) Definindo a estrutura do pavimento

O programa vem como uma estrutura padrão para servir de base para o projetista. A montagem da estrutura das camadas do pavimento pode ser totalmente alterada, sendo que são permitidos, no mínimo três e, no máximo, oito camadas. Na tabela que exibe a Estrutura do pavimento são apresentadas informações resumidas das propriedades de cada uma das camadas da estrutura do pavimento, como: material constituinte e o tipo selecionado, espessura, módulo de resiliência (se linear ou sigmoidal), e coeficiente de Poisson.

Para alterar a estrutura do pavimento, incluindo camadas, deve-se selecionar a linha imediatamente acima da posição da futura camada, clicar no Alterar Estrutura e após em Adicionar Camada, conforme Figura 15 - Adicionando camada.

Figura 15 - Adicionando camada



Fonte: Software MeDiNa

Para excluir alguma camada deve-se manter a camada que será excluída selecionada e na opção Alterar Estrutura, clicar em Remover camada.

Na opção Alterar Estrutura também é possível deixar a camada para ser dimensionada, desta forma o programa executará uma rotina para dimensionar a camada, basta selecionar a camada que deverá ser dimensionada deixá-la para ser modificada.

e) Definindo o Tráfego

Defina as informações do tráfego com base nas informações coletadas ou fornecidas para o projeto. O programa MeDiNa utiliza o conceito do Número Equivalente para seus cálculos. Uma boa estimativa do tráfego é fundamental para se conseguir um bom dimensionamento ou para se fazer uma boa análise.

O eixo padrão rodoviário utilizado na rotina do software MeDiNa é o apresentado na Figura 16 - Eixo padronizado rodoviário.

Figura 16 - Eixo padronizado rodoviário



Fonte: Software MeDiNa.

f) Dimensionamento do pavimento

Após o lançamento de todos os dados da Estrutura e do Tráfego, pode-se realizar a Análise ou o Dimensionamento das Camadas.

Na análise são realizados o cálculo e a verificação de Área Trincada e/ou Deformação Permanente, sem alterar as espessuras dos pavimentos definidas.

No dimensionamento, informando as espessuras das camadas, o programa realiza diversas análises, sendo possível verificar e atender o critério de fadiga.

g) Relatórios

Após a realização do dimensionamento ou análise do pavimento a aba de Relatórios fica disponível. Nesta aba podem ser consultados os resultados do programa, divulgando os seguintes relatórios:

A. Evolução Mensal dos Danos

Neste relatório são apresentados os resultados do comportamento da área trincada, da deformação permanente total quando houver camadas cimentadas estrutura.

B. Resumo da Deformação Permanente

Fornece o resumo da deformação permanente na estrutura ao fim do período de análise, com a contribuição de cada camada na deformação total em dois pontos na superfície.

C. Bacias de Deflexão

Apresenta as bacias de deflexão, medidas em 10^{-2} mm no topo de cada uma das camadas e no topo do subleito. As bacias foram calculadas com os parâmetros fornecidos pelo projetista simulando os equipamentos Falling Weight Deflectometer - FWD e para a Viga Benkelman.

D. Relatório Completo da Análise

Apresenta todas as informações utilizadas no dimensionamento ou na análise da estrutura.

h) Análises

As verificações serão realizadas conforme definições sugeridas pelo método mecanístico-empírico, considerando os resultados de área trincada e do afundamento de trilha de roda. As condições de área trincada e de afundamento de trilha de roda quando satisfeitas, simultaneamente, sugere valores admissíveis para as deflexões dos pavimentos.

Desta forma, com os dados inseridos no programa e com os resultados gerados, utilizando as relações mínimas estipuladas pelo método MEDINA, relatados no Relatório Final de Pesquisa elaborado pela PUCRS, tem-se os valores para verificação dos critérios mínimos estabelecidos.

Os critérios mínimos serão comparados em cada dimensionamento efetuado pelo software MEDINA, para no fim verificar qual modelo estabelece a validação de destes critérios. No fim, permite-se alcançar um dimensionamento com espessuras mínimas suficientes que atenta ao método.

Tabela 13 - Critérios de desempenho sugeridos para utilização na concepção e dimensionamento de pavimentos asfálticos

Tipo de rodovia	Critério (Valor no final da vida útil, no nível de confiabilidade do projeto)		
	AT (%) máximo	ATR (mm) máximo	FN (mínimo)
Autoestrada, tráfego pesado, vias com restrições para obras	10	10	2000
Principal, tráfego média a pesado	20 a 30	13	750
Secundária, coletora, baixo volume de tráfego	30 a 40	20	300
AT – Área Trincada			
ATR – Afundamento por trilha de roda			
FN – Fluência			

Fonte: Relatório Final de Pesquisa, PUCRS.

6 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo serão abordados os resultados e as análises obtidas através da metodologia para o dimensionamento empírico e mecanístico-empírico estudado nesta pesquisa para um segmento da BR 282/SC.

6.1 Definição do CBR do sub-leito

Inicialmente, como já informado será calculado o CBR que represente o solo em que será executado o projeto. Para isso, diante da Tabela 10 – Dados de CBR de alguns pontos da Rodovia BR 282/SC, será determinado a média e o desvio padrão através da ferramenta de cálculo Excel, para permitir realizar a quantidade de elementos que a amostra populacional para determinar o CBR possuirá.

Tabela 14 - Dados populacionais

Média	8.51
Desvio-padrão	5.62

Fonte: Elaborado pelo autor, através do Excel.

Com os dados populacionais e o nível de confiabilidade definido, através da equação 10, é possível determinar quantos elementos possuirá a amostra populacional.

$$n = \left(\frac{1,960 * 5,62}{8,51} \right)^2 = 2$$

A amostra deverá ser composta por dois valores, que foram coletados através da função randômico do Excel, e dados abaixo:

Tabela 15 – Amostra coletada

CBR (%)
9.30
4.40

Fonte: Elaborado pelo autor, através do Excel.

Com os dados da amostra é possível calcular a média.

$$Média = \frac{9,30 + 4,40}{2} = 6,87$$

Como definido na metodologia, é necessário verificar qual a menor média encontrada, para que esta média seja adotada na determinação do número N.

Deste modo, temos que:

$$Média_{amostral} < Média_{populacional}$$

$$6,87 < 8,51$$

Assim, o CBR de cálculo será igual **6,87%**.

6.2 Dimensionamento pelo método DNER (1981)

A partir do estudo de tráfego com os valores do tráfego obtido é possível realizar o dimensionamento pelo método do DNER (1981), obtendo a espessura equivalente do pavimento.

Definido o CBR dos materiais e através das inequações 3, 4 e 5 estudadas no método do DNER (1981), preparou-se uma rotina de cálculo na ferramenta Excel e fez-se a determinação das espessuras referente ao número N encontrado no estudo de tráfego para cada trecho, uma vez que o número N do projeto é diferente do número N do estudo de tráfego.

Assim, baseando-se na Tabela 12 - CBR dos materiais utilizados e as inequações 3, 4 e 5, foi determinado as camadas do pavimento, conforme demonstrado abaixo. Serão apresentados dois dimensionamentos, um considerando o valor N para o primeiro trecho da rodovia e outro para o segundo trecho da rodovia. Foram realizados dois dimensionamentos, visto que o estudo de tráfego trouxe dois resultados, dependendo do trecho analisado, conforme já apresentado nesta pesquisa.

Para o primeiro trecho foi dimensionada as camadas conforme abaixo.

Tabela 16 - Dimensionamento para o 1º trecho da Rodovia BR 282/SC

Trecho 1 – N = 1,17 x 10 ⁷					
Camada	Espessura (cm)	Função	Tipo	Coeficiente Estrutural (k)	CBR (%)
1	10.00	Revestimento	Revestimento de concreto betuminoso	2	-
3	15.00	Base	Brita Graduada Simples	1	80
4	18.00	Sub-base	Macadame Seco	1	20
5	-	Subleito	-	1	6.87
H _t	43.00		cm		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Enquanto que para o segundo trecho, foi realizado o seguinte dimensionamento, respeitando o número N do trecho.

Tabela 17 – Dimensionamento para o 2º Trecho da Rodovia BR 282/SC

Trecho 2 – N = 2,28 x 10 ⁷					
Camada	Espessura (cm)	Função	Tipo	Coeficiente Estrutural (k)	CBR (%)
1	10.00	Revestimento	Revestimento de concreto betuminoso	2	-
3	15.00	Base	Brita Graduada Simples	1	80
4	21.00	Sub-base	Macadame Seco	1	20
5	-	Subleito	-	1	6.87
H _t	46.00		cm		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos dimensionamentos elaborados pelo método DNER (1981), pode-se verificar uma diferença somente na última camada do pavimento (sub-base) decorrente do valor do estudo de tráfego e do CBR do material. É evidente que o segundo trecho, por possuir um tráfego maior o pavimento é mais espesso, enquanto que o tráfego menor do primeiro trecho permite uma estrutura menos espessa.

6.3 Verificação do dimensionamento pelo método mecanístico-empírico (MeDiNa)

As análises feitas pelo método mecanístico-empírico, foram possibilitados através do software MeDiNa, disponibilizado pelo DNIT. Foram modelados ambos os

perfis dimensionamento pelo método DNER (1981) para verificar o comportamento através do método mecanístico-empírico.

Tabela 18 - Modelagens utilizadas no software MEDINA, referente ao projeto executado

Modelagens	Camada	Espessura (cm)	Função	Tipo
1º	1	10	Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) com polímero
	2	15	Base	Brita Graduada Simples
	3	18	Sub-base	Macadame Seco
	4	-	Subleito	-
2º	1	10	Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) com polímero
	2	15	Base	Brita Graduada Simples
	3	21	Sub-base	Macadame Seco
	4	-	Subleito	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra informação importante a ser considerada é as características dos materiais utilizados. O software MEDINA possui diversos materiais definidos, contudo os que não possuírem deverão ser cadastrados ou podem ser obtidos através da retroanálise de bacias com ensaios. Como a retroanálise de bacias não se aplica a este estudo, os dados dos materiais não cadastrados serão inseridos através de bibliografias existentes.

As informações e características de alguns materiais necessários foram retirados de bibliografias já mencionadas, como Arteris, MEDINA e etc. A seguir são demonstradas as características dos materiais utilizados no software.

Tabela 19 - Características dos materiais aplicados no software MEDINA

Material	Módulo de Resiliência (MPa)	Coefficiente de Poisson
Macadame Seco	150	0.35
Brita Graduada Simples	381	0.35
Concreto Betuminoso com Polímero	8000	0.30

Fonte: Elaborado pelo autor, através de dados bibliográficos e dados contidos no software MEDINA.

Figura 17 - Características dos materiais - Subleito

SUBLEITO	
Material	Solo Siltoso NS'
Parâmetros	
Espessura (cm)	0,0
Coeficiente de Poisson	0,45
Contato	-
Módulo (MPa)	
Modelo Constituinte	Resiliente Linear
Módulo (MPa)	189
Características	
Descrição do Material	Solo siltoso Papucaia - RJ
Grupo MCT	NS'
MCT - Coeficiente c'	1,00
MCT - Índice e'	1,68
Massa específica (g/cm ³)	1,8
Umidade Ótima (%)	13,0
Energia Compactação	Normal
Norma ou Especificação	DNIT ES 137
Deformação Permanente	
Modelo:	$ep = \psi_1 \cdot (s_3^{\psi_2}) \cdot (sd^{\psi_3}) \cdot (N^{\psi_4})$
Coeficiente de Regressão (k_1 ou ψ_1):	0,244
Coeficiente de Regressão (k_2 ou ψ_2):	0,419
Coeficiente de Regressão (k_3 ou ψ_3):	1,309
Coeficiente de Regressão (k_4 ou ψ_4):	0,069

Fonte: Elaborado pelo autor, através de dados bibliográficos e dados contidos no software MEDINA.

Figura 18 - Características dos materiais – Macadame Seco

MATERIAL GRANULAR	
Material	Macadame Seco
Parâmetros	
Espessura (cm)	0,0
Coeficiente de Poisson	0,35
Contato	Não Aderido
Módulo (MPa)	
Modelo Constituinte	Resiliente Linear
Módulo (MPa)	150
Características	
Descrição do Material	Macadame Seco
Massa específica (g/cm ³)	1,8
Umidade Ótima (%)	13
Energia Compactação	Normal
Abrasão Los Angeles (%)	...
Faixa Granulométrica	...
Norma ou Especificação	DNIT ES 137
Deformação Permanente	
Modelo:	$ep = \psi_1 \cdot (s_3^{\psi_2}) \cdot (sd^{\psi_3}) \cdot (N^{\psi_4})$
Coeficiente de Regressão (k_1 ou ψ_1):	0,31
Coeficiente de Regressão (k_2 ou ψ_2):	0,06
Coeficiente de Regressão (k_3 ou ψ_3):	0,85
Coeficiente de Regressão (k_4 ou ψ_4):	0,05

Fonte: Elaborado pelo autor, através de dados bibliográficos e dados contidos no software MEDINA.

Figura 19 - Características dos materiais – Brita Graduada Simples

MATERIAL GRANULAR	
Material	Brita Graduada Simples
Parâmetros	
Espessura (cm)	0,0
Coeficiente de Poisson	0,35
Contato	Não Aderido
Módulo (MPa)	
Modelo Constituinte	Resiliente Linear
Módulo (MPa)	381
Características	
Descrição do Material	Brita Graduada Simples
Massa específica (g/cm³)	2,25
Umidade Ótima (%)	5,0
Energia Compactação	Modificada
Abrasão Los Angeles (%)	43
Faixa Granulométrica	...
Norma ou Especificação	DNIT ES 141
Deformação Permanente	
Modelo:	$ep = psi1.(s3^{psi2}).(sd^{psi3}).(N^{psi4})$
Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1):	0,0868
Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2):	-0,2801
Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3):	0,8929
Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4):	0,0961

Fonte: Elaborado pelo autor, através de dados bibliográficos e dados contidos no software MEDINA.

Figura 20 - Características dos materiais – Concreto Asfáltico com Polímero

CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	
Material	Concreto Betuminoso com Polímero
Parâmetros	
Espessura (cm)	0,0
Coeficiente de Poisson	0,30
Contato	Não Aderido
Módulo (MPa)	
Modelo Constituinte	Resiliente Linear
Módulo (MPa)	8000
Características	
Tipo de CAP	Asfalto Modificado
Aditivo Modificador	Polímero
Massa específica (g/cm³)	2,4
Resistência à tração (MPa)	1,28
Teor de asfalto (%)	...
Volume de vazios (%)	...
Faixa Granulométrica	...
Abrasão Los Angeles (%)	...
Norma ou Especificação	DNIT ES 385
Curva de Fadiga	
Modelo:	$k1.(et^{k2})$
Coeficiente de Regressão (k1):	1,0e-12
Coeficiente de Regressão (k2):	-3,75
Classe de Fadiga:	3
FFM (100µ a 250µ):	0,90

Fonte: Elaborado pelo autor, através de dados bibliográficos e dados contidos no software MEDINA.

Com as características cadastradas no software são realizados os dimensionamentos dos modelos, variando-se os trechos projetado, junto do número equivalente N.

Figura 21 - Modelo 1 - Projeto executado com N do 1º Trecho

RESPONSÁVEL: EMPRESA:

PROJETO: MODO:

Alterar Estrutura >>

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	Concreto Betuminoso com Polímero	10	8000	0,30
>> 2 <<	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada Simples	15	381	0,35
3	MATERIAL GRANULAR	Macadame Seco	18	150	0,35
SL	SUBLEITO	Solo Silteoso NS'	0,0	189	0,45

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	3205
FV:	1.000
N anual (1º ano):	1.17e+06
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	1.17e+06
Taxa de crescimento (%):	0,0
Período de projeto (anos):	10
N Total:	1.17e+07

FV:
Fator de veículo no ano de abertura do tráfego

--- 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: 60,7%
Afundamento de Trilha de Roda: 4,2mm

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

Fonte: Elaborado pelo autor, através do MEDINA.

O primeiro modelo com a 1ª situação citada na Tabela 18 - Modelagens utilizadas no software MEDINA, referente ao projeto executado com o N do 1º trecho do estudo de tráfego, gerou como resultado:

- Área Trincada: 60,7%
- Afundamento da trilha de roda: 4,2 mm

Figura 22 - Modelo 21 – Projeto executado com N do 2º Trecho

RESPONSÁVEL: EMPRESA:

PROJETO: MODO:

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	Concreto Betuminoso com Polímero	10	8000	0,30
>> 2 <<	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada Simples	15	381	0,35
3	MATERIAL GRANULAR	Macadame Seco	21	150	0,35
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

☒ EIXO PADRÃO RODVIÁRIO

☐ DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	6247
FV:	1.000
N anual (1º ano):	2.28e+06
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	2.28e+06
Taxa de crescimento (%):	0,0
Período de projeto (anos):	10
N Total:	2.28e+07

N anual (1º ano):
Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano)

--- 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%

Afundamento de Trilha de Roda: 4,5mm

--- ALERTAS ---

Tráfego elevado para a estrutura proposta.

Fonte: Elaborado pelo autor, através do MEDINA

O segundo modelo, levou como base a 2ª modelagem citada na Tabela 18 - Modelagens utilizadas no software MEDINA, referente ao projeto executado com o N do 2º trecho do estudo de tráfego. Na análise do pavimento, obteve como resultado:

- Área Trincada: 99,0%
- Afundamento da trilha de roda: 4,5 mm

Outras análises referentes aos modelos podem ser consultadas nos apêndices desse trabalho. Os dados importantes, referentes as análises serão relatadas conforme cada verificação necessária.

Os valores para área trincada e deformação permanente são considerações através de equações e relações inscritas no software MEDINA, que variam de acordo com as características dos materiais e das espessuras de cada camada. Os critérios admissíveis dependem do nível de confiabilidade do projeto e do nível de rodovia. Com os dimensionamentos efetuados é possível verificar se as condições mínimas são satisfeitas através da Tabela 13 - Critérios de desempenho sugeridos para utilização na concepção e dimensionamento de pavimentos asfálticos.

Preparando um resumo dos valores atingidos tem-se a tabela a seguir.

Tabela 20 - Verificação dos critérios mínimos para os modelos elaborados

Critérios	AT (%)	Condição	ATR (mm)	Condição
Valores admissíveis	20 a 30		13	
Modelo 1	60,7	Não satisfaz	4,2	Satisfaz
Modelo 2	99,0	Não satisfaz	4,5	Satisfaz

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando-se o resumo dos modelos dimensionados pelo DNIT considerando os estudos de tráfegos não são atendidos a condição de área trincada em nenhum modelo.

Apesar de a área trincada não ter sido atingida em nenhum modelo, verifica-se que todos atendem a condição do afundamento por trilha de roda. Este critério é garantido pelos tipos de materiais empregados na sub-base, base e revestimento.

Assim é necessário dimensionar um pavimento que atenda as condições e critérios de dimensionamento mecanístico-empírico. Lançando os dados no software e aplicando a função de dimensionamento, obteve-se o seguinte perfil.

Figura 23 - Perfil satisfatório pelo método mecanístico-empírico para 1º Trecho

ESTRUTURA MODELAGEM RESULTADOS VERSÃO DISPONÍVEL ATÉ 30/09/2019

RESPONSÁVEL: EMPRESA:

PROJETO: MODO:

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	Concreto Betuminoso com Polímero	13	8000	0,30
>> 2 <<	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada Simples	33,8	381	0,35
3	MATERIAL GRANULAR	Macadame Seco	40,0	150	0,35
SL	SUBLEITO	Solo Silteoso NS'	0,0	189	0,45

EIXO PADRÃO RODVIÁRIO

☒ **DADOS DO TRÁFEGO**

Tipo de Via: Sistema Arterial Primário

VMD (1º ano): 3205

FV: 1.000

N anual (1º ano): **1,17e+06**

% Veículos na faixa de projeto: 100

N Anual da faixa: 1,17e+06

Taxa de crescimento (%): 0,0

Período de projeto (anos): 10

N Total: 1,17e+07

N anual (1º ano):
Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano)

--- DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO NOVO ---

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDINA.

Nível de confiabilidade da análise: 85%

Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 28,9%

Afundamento de Trilha de Roda: 4,6mm

Os resultados obtidos pelo programa devem ser avaliados criteriosamente antes de serem aprovados para a execução de campo.

Fonte: Elaborado pelo autor, através do software MEDINA.

Figura 24 - Perfil satisfatório pelo método mecanístico-empírico para 2º Trecho

RESPONSÁVEL: EMPRESA:

PROJETO: MODOS:

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	Concreto Betuminoso com Polímero	15	8000	0,30
>> 2 <<	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada Simples	36,9	381	0,35
3	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada Simples	40,0	381	0,35
4	MATERIAL GRANULAR	Macadame Seco	40,0	150	0,35
SL	SUBLEITO	Solo Silteoso NS'	0,0	189	0,45

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

☒ **DADOS DO TRÁFEGO**

Tipo de Via: Sistema Arterial Primário

VMD (1º ano): 6247

FV: 1,000

N anual (1º ano): **2.28e+06**

% Veículos na faixa de projeto: 100

N Anual da faixa: 2.28e+06

Taxa de crescimento (%): 0,0

Período de projeto (anos): 10

N Total: 2.28e+07

N anual (1º ano):

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano)

--- DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO NOVO ---

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 85%

Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 29,0%

Afundamento de Trilha de Roda: 5,6mm

Os resultados obtidos pelo programa devem ser avaliados criteriosamente antes de serem aprovados para a execução de campo.

Fonte: Elaborado pelo autor, através do software MEDINA.

Na Figura 24 - Perfil satisfatório pelo método mecanístico-empírico, está dimensionado pelo software MEDINA a menor espessura total necessária para atender os critérios impostos pelo novo método. Além do tráfego, a área trincada e o afundamento da trilha de roda são atendidos, resultando na estrutura suficiente para atender a via.

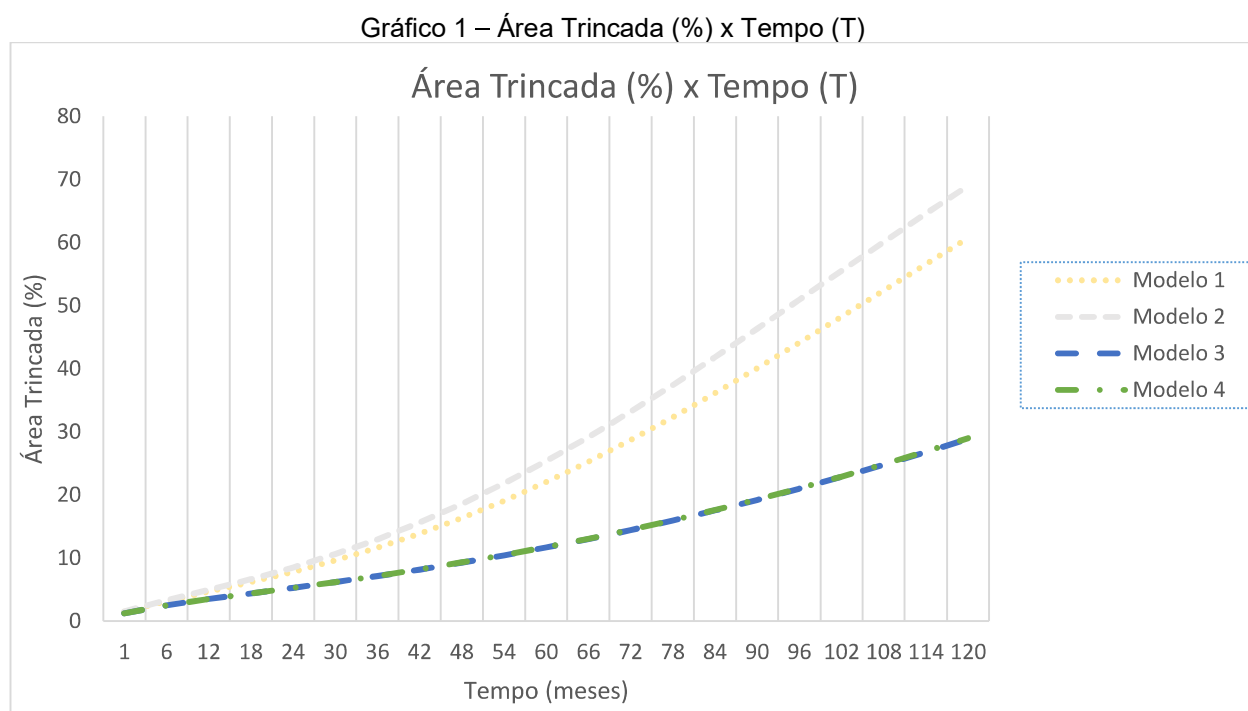
Pode-se informar que foram realizados diversos modelos para atingir os critérios mínimos estabelecidos pelo MEDINA, mas em nenhum caso foi possível atingir aumentando-se somente a camada de sub-base. O melhor resultado obtido foi o que está apresentado nos modelos acima. A explicação pode ser pelo fato de a camada de sub-base utilizada (macadame seco) apresentar apenas 40% do MR da camada de base (BGS), que tecnicamente seria necessária uma camada muito mais espessa.

Com os dimensionamentos elaborados e com os relatórios gerados é possível verificar a evolução da área trincada e do afundamento de trilha de roda dos pavimentos ao longo do tempo.

O afundamento de trilha de roda, como pode ser observado nos apêndices é crescente ao longo do tempo. O fato é justificado pela fadiga dos materiais serem atingidos. A repetição de cargas dinâmicas sobre a estrutura, levam a ocorrer a fadiga

do material, reduzindo a deformabilidade resiliente ocasionado deformações permanentes.

Quanto às trincas, o gráfico a seguir demonstra a evolução das trincas nos diversos pavimentos analisados pelo programa. Os dados que compõe os dados foram retirados do MEDINA e estão disponibilizados nos apêndices desta pesquisa.

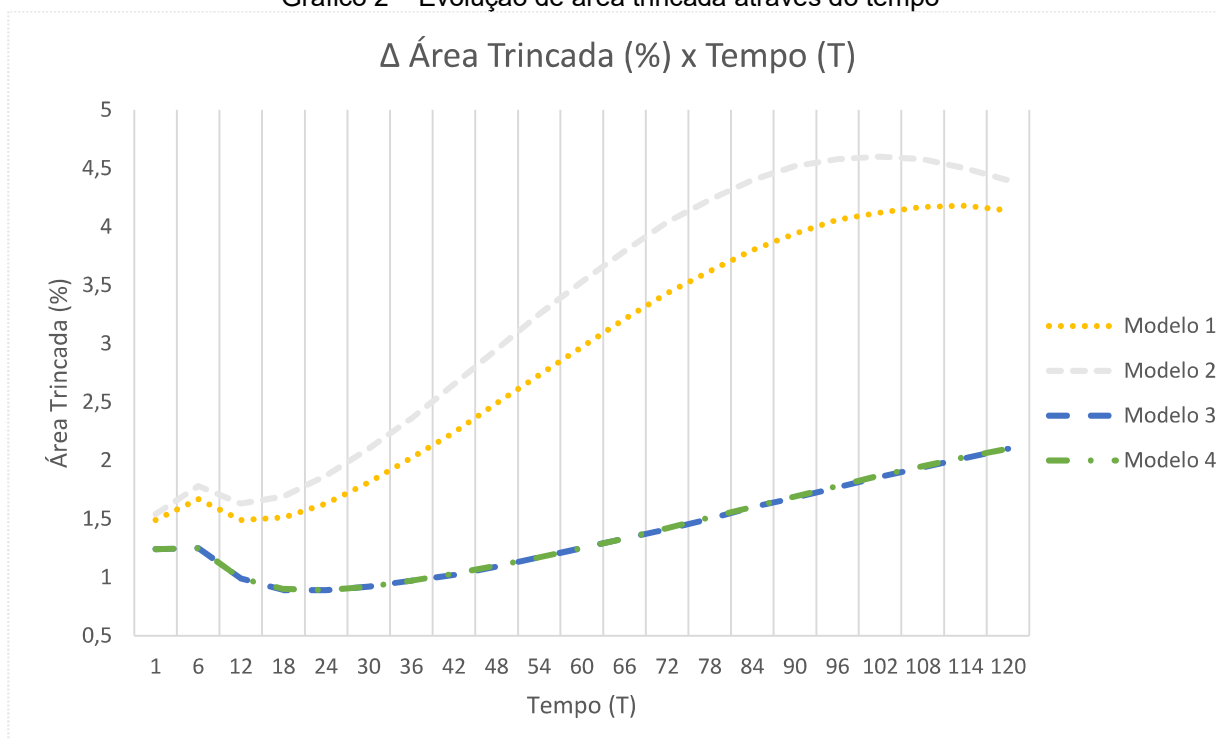


Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado no Gráfico 2, a evolução de área trincada é crescente ao longo do tempo.

Contudo, é necessário avaliar a taxa de crescimento destas áreas trincadas, assim preparou-se a variação do crescimento de área trincada entre os meses obtidos pelo software, analisando-se o gradiente de evolução através do tempo.

Gráfico 2 – Evolução de área trincada através do tempo



Fonte: Elaborado pelo autor.

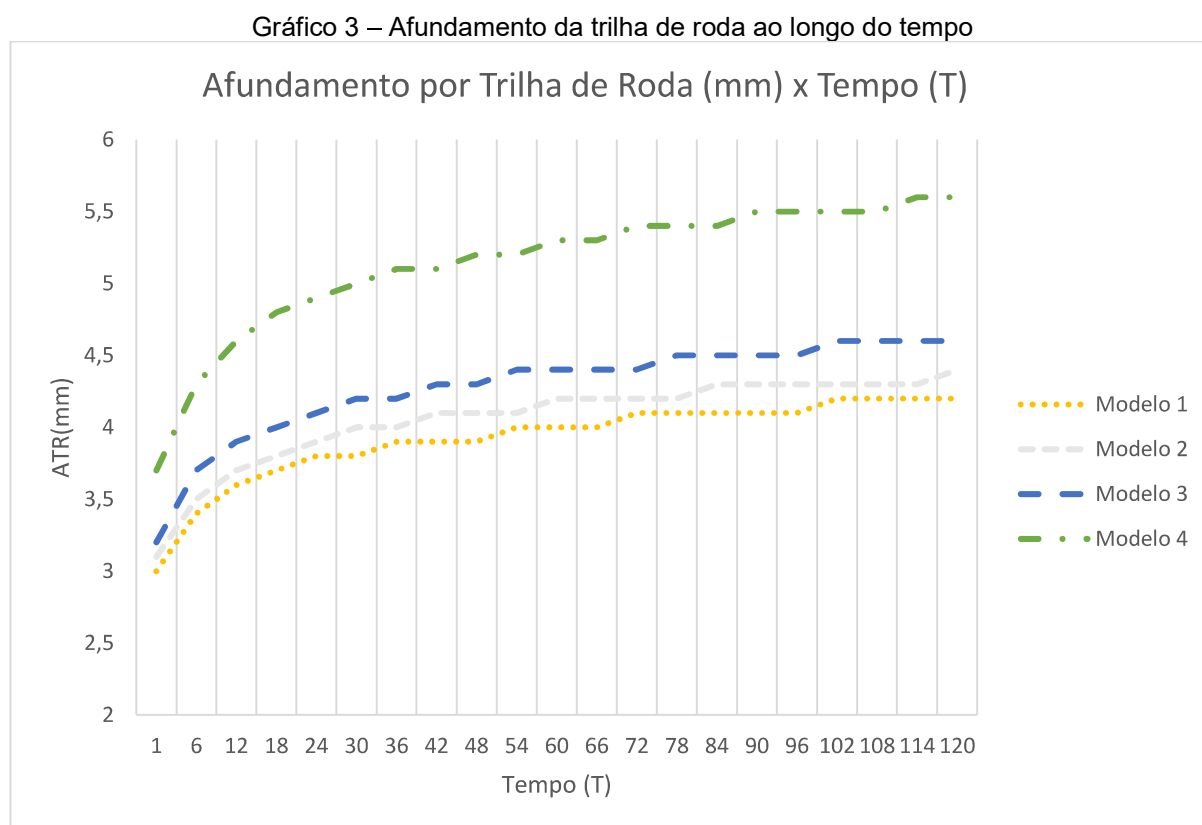
Observando o gráfico acima, tem-se que o comportamento da evolução de área trincada é normalmente crescente, em certo período o crescimento diminui, mas ao longo do tempo a taxa de aparecimento retorna a aumentar. Os resultados podem ser explicados por decorrência da propagação das trincas, que evolui da seguinte forma: início do fissuramento, crescimento estável da trinca e propagação instável das trincas, como observado no Gráfico 3.

As cargas mecânicas inicialmente expostas e a variação de temperatura em que o pavimento está submetido, faz surgir as primeiras trincas provocando o pico inicial, como observado no Gráfico 3. Após a contínua exposição das cargas mecânicas, a fadiga dos materiais e a contínua exposição a variação térmica, provoca o crescimento estável das trincas. Já o crescimento instável das trincas, ocorre quando as primeiras fissuras na superfície do revestimento são atingidas, isso ocorre por uma outra condicionante, a variação hídrica no pavimento, ou seja, enfraquecimento estrutural pela ação da água.

Os resultados estão de acordo com o esperado pois existem diversas correlações já estudadas entre a evolução do aparecimento das trincas com o tempo. Fernandes Jr. (1994) verificou que estes problemas normalmente se relacionam com a entrada de água na área trincada, provocando enfraquecimento estrutural. Além do

enfraquecimento estrutural ocorre a produção da irregularidade longitudinal da faixa, que com as deformações e exposição a cargas dinâmicas diversas faz o rápido aparecimento e progressão das trincas.

Além do estudo de área trincada é necessário verificar o comportamento da trilha de roda. Através dos dados obtidos do software o gráfico abaixo foi elaborado para análise.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o Gráfico 4 elaborado é possível verificar que as maiores deformações ocorrem nos primeiros meses e após tendem a estabilizar, contudo seu crescimento é progressivo. A situação novamente pode ser explicada pela fadiga dos materiais. O pavimento ainda não utilizado com a ação de forças mecânicas tende a se deformar. Esta deformação enquanto no estado elástico não apresenta nenhum problema, mas facilmente (nos primeiros meses, como observado) atinge a fase plástica, apresentando uma deformação permanente (o afundamento). Na sequência, pela continuidade dos impactos mecânicos a que é submetido e pela formação do afundamento da trilha de roda, como o tráfego acaba sendo canalizado para essa

trilha, menos as tensões e deformações são absorvidas pelas outras camadas, fazendo progressivamente ocorrer o aumento destas deformações.

As deformações, são inicialmente maiores, pois nas primeiras idades ocorre a deformação permanente causada pelo atingimento da fase plásticas. Os efeitos acumulativos de deformações são menores ao longo do tempo, pelo fato de estar atingindo a fadiga dos materiais, pois deve-se ao fato da exposição de carga dinâmica repetitiva, enfraquecimento estrutural devido à presença e evolução das trincas.

Outra observação importante é referente ao aumento do afundamento de trilha de roda em função da espessura total do pavimento, fato que ocorre devido ao pavimento funcionar como um sistema de múltiplas camadas, fazendo com que o afundamento seja oriundo da contribuição de todas as camadas, sendo obviamente, mais desenvolvida em camadas de misturas asfálticas.

7 CONCLUSÕES

A pesquisa elaborada tinha por objetivo comparar o método de dimensionamento do DNIT atualmente regulamento, com a nova proposta MEDINA, que realiza verificações mecanística-empírica. Para isso, optou-se pela realização da verificação do dimensionamento de um trecho da BR 282/SC que durante a realização da pesquisa estava sendo executado.

Com os resultados obtidos na pesquisa, verificou-se que o método de dimensionamento DNIT utilizado não atenderá as condições impostas pelo novo método proposto.

Embora parte das análises tenha sido executada com uma estrutura de pavimento proposta sem ter sido dimensionada pelo método DNIT, visto que o estudo de tráfego elaborado não fora utilizado para conceber o dimensionamento do pavimento, a pesquisa buscou dimensionar o pavimento realmente como o método prevê.

Contudo, como evidenciado nos resultados, os dimensionamentos executados fielmente pelo método DNIT em cada trecho eram menos favoráveis do que a estrutura inicialmente proposta. Assim, foi necessário avaliar todos os modelos pela proposta mecanística-empírica.

Apesar de na pesquisa, vários dados terem sido fixados por programas ou bibliografias, os resultados continuam sendo válidos visto que os mesmos dados foram utilizados para todas as análises elaboradas, permitindo a possibilidade de comparar os resultados mesmo que em campo, possuísem outros valores.

Dentro destas informações, as conclusões obtidas podem ser:

- a) Existem diferenças significativas nos métodos de dimensionamentos estudados. No método DNIT questões de fadiga e área trincada não são analisados, características extremamente importantes para o método mecanístico-empírico;
- b) O número N equivalente para expressar o tráfego, continua sendo valor importante para realização dos dimensionamentos, uma vez que considera valor para carga estimada;

- c) Possivelmente, se a nova proposta for empregada para realização dos dimensionamentos, os pavimentos existentes estarão condenados por não suprirem as condições mínimas do novo método.
- d) O módulo de resiliência dos materiais é importante para determinação de afundamento da trilha de roda e da área trincada, e consequentemente avaliação da fadiga dos pavimentos.
- e) O aparecimento de trincas e afundamento de trilhas de roda dos pavimentos tendem atingir níveis maiores ao longo do tempo, devido à fadiga dos materiais. O pavimento é um elemento que possui comportamento termo-plástico e com isso, quando submetido a sua fase plástica sem tratamentos tende a ocorrer a evolução acelerada do enfraquecimento da estrutura.
- f) O afundamento da trilha de roda tende a ser maior em pavimentos mais espessos pelo fato de que a estrutura é constituída de múltiplas camadas e a deformação total é oriunda do acúmulo de todas as camadas.
- g) Os novos pavimentos dimensionados, quando considerado os mesmos materiais empregados no método DNIT possuíram camadas maiores;
- h) A avaliação técnica continua sendo importante, tanto econômico quanto operacional, pois a realização das ordens de serviço, materiais disponíveis, logística de obra não são analisados pelo programa.
- i) O método de dimensionamento DNIT, para as condições da proposta mecanística-empírica realiza subdimensionamento que não atendem a realidade das vias.

Além das conclusões obtidas nesta pesquisa, foi possível determinar outras pesquisas que podem complementar e melhorar a realização dos dimensionamentos, e também a estrutura viária rodoviária existente no Brasil, que são sugeridas abaixo:

- a) Aplicação de diferentes materiais nas camadas que compõe o pavimento, avaliando as espessuras finais obtidas com base na proposta mecanística-empírica;
- b) Utilização de diferentes materiais com disponibilidade próximo a região da BR 282/SC – Via Expressa, buscando manter as mesmas espessuras do método DNIT, mas atendendo as condições mecanística-empírica;

- c) Técnicas de reforço/ tratamento dos pavimentos antigos construídos dimensionados pelo método DNIT para atender a nova proposta;
- d) Avaliação do impacto financeiro na nova forma de dimensionamento.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. (2006) Pesquisa CNT de Rodovias 2017: Por que os pavimentos das Rodovias do Brasil não duram? Brasília: CNT, 2017. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 12 de ago. 2018.

_____. (2006) Pesquisa CNT de Rodovias 2017: Relatório Gerencial. Brasília: CNT, 2017. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 10 de ago. 2018.

ARTERIS, **Especificação Particular, Macadame Seco – MS**, Disponível em: <<http://www.arteris.com.br/wp-content/uploads/2018/07/ARTERIS-ES-011.-Macadame-Seco-MS-REV.-6.pdf>>. Acesso em: 14 de mar. 2019.

BALBO, José Tade. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. Oficina de Textos. São Paulo, SP, 2007.

BEUREN, Ilse Maria; RAUPP, Fabiano Maury. Metodologia da pesquisa aplicável às ciências sociais. In: BEUREN, Ilse Maria (org). **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2004.

BEZERRA NETO, R. S; **Análise Comparativa de Pavimentos Dimensionados através dos Métodos Empírico do DNER e Mecanístico e Proposta de um Catálogo Simplificado de Pavimentos para a Região de Campo Grande (MS)**. Dissertação Mestrado Escola de engenharia São Carlos. USP, São Carlos, SP, 2004.

COUTINHO, J.C.P. **Dimensionamento de pavimento asfáltico: comparação do método DNER com um método mecanístico – empírico aplicada a um trecho**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2011.

DEMARCHI, Sergio Henrique e SETTI, José Reynaldo Anselmo. **Análise de Capacidade e Nível de Serviço de Segmentos Básicos de Rodovias utilizando o HCM 2000**. 2002.

FRANCO F.A.C.P. **Método do dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfáltico – SISPAV**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

FEDERAL, Universidade e et al. **Universidade Federal de Juiz de Fora Faculdade de Engenharia – Departamento de Transportes e Geotecnia TRN 032 - Pavimentação – Prof. Geraldo Luciano de Oliveira Marques 2.2.2 –**. p. 41–49, [S.d.].

FEDERATIVA, Republica e BRASIL, D O e TRANSPORTES, Ministerio D O S. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT Superintendência Regional no Estado de Santa Catarina Projeto Executivo de Engenharia da 1 “ ETAPA DAS OBRAS da VIA EXPRESSA Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT Superintendência Regional no Estado de Santa Catarina Projeto Executivo de Engenharia da 1 “ ETAPA DAS OBRAS da VIA EXPRESSA (Rodovia BR 282 / SC)**. v. 3, [S.d.].

FEDERATIVA, Republica e BRASIL, D O e TRANSPORTES, Ministerio D O S.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT Superintendência Regional no Estado de Santa Catarina Projeto Executivo de Engenharia da 1ª ETAPA DAS OBRAS da VIA EXPRESSA Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT Superintendência Regional no Estado de Santa Catarina Projeto Executivo de Engenharia da 1ª ETAPA DAS OBRAS da VIA EXPRESSA (Rodovia BR 282 / SC). v. 2, [S.d.].

FEDERATIVA, Republica e BRASIL, D O e TRANSPORTES, Ministerio D O S. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT Superintendência Regional no Estado de Santa Catarina Projeto Executivo de Engenharia da 1ª ETAPA DAS OBRAS da VIA EXPRESSA** Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT Superintendência Regional no Estado de Santa Catarina Projeto Executivo de Engenharia da 1ª ETAPA DAS OBRAS da VIA EXPRESSA (Rodovia BR 282 / SC). v. 1, [S.d.].

FILHO, Universidade Gama. **SISTEMA DE TRANSPORTES NO BRASIL O Multimodalismo como Opção Logística**. 2004.

JURACH, Aline. **Estudo da viabilidade técnica da aplicação de solo saprolítico melhorado com cimento como base de pavimento de baixo custo**. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7854/JURACH%2C%20ALINE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 maio de 2019.

LEE, Shu Han. **Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias**. 4ª edição. Editora UFSC, Florianópolis, 2017.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos**. 3ª Ed. Ed. Interciência. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

PESQUISA, Diretoria D E Planejamento E. **Adaylar (2)**. 2006.

PEREIRA, Djalma Martins e et al. **Apostila de sistemas de transportes**. Universidade Federal do Paraná Setor de tecnologia - Curitiba - PR, p. 1–195, 2013. Disponível em: <<http://www.dtt.ufpr.br/Sistemas/Arquivos/apostila-sistemas-2013.pdf>>.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23. Ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SOUZA, M. L. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. IPR. Rio de Janeiro, RJ, 1981.

PAVIMENTAÇÃO, Brita Graduada, **Especificações de Serviços Rodoviários**, DER/PR. Disponível em: <http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/pdf_Pavimentacao/ES-P05-05BritaGraduada.pdf>. Acesso em: 22 de abr. 2019.

RELATÓRIO final de pesquisa. **Curso sobre o novo método de dimensionar de pavimentos flexíveis no Brasil – Um curso para alunos de graduação sobre sua importância no contexto Nacional**. ANTT, PUCRS, 2018.

9 APÊNDICES

APÊNDICE A – Dimensionamento do DNER (1981) – 1º Trecho

APÊNDICE B - Dimensionamento do DNER (1981) – 2º Trecho

APÊNDICE C - Dimensionamento MeDiNa (1981) – 1º Trecho

APÊNDICE D- Dimensionamento MeDiNa (1981) – 2º Trecho

Programa MeDiNa v.1.1.2.0 - abr/2019

Cópia registrada para Matheus (mnsousa.96@gmail.com), da empresa IFSC..

Análise do pavimento

Empresa: **IFSC**

Nome do Projeto:

Responsável pelo projeto: **Matheus**

Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Primário**

Nível de confiabilidade: **85%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **27/07/2019 às 10:20:24** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **60,7%.**

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **4,2mm**

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento da estrutura do pavimento!
- Tráfego elevado para a estrutura proposta.

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicados na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso.

Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO Concreto Betuminoso com Polímero	10,0	Resiliente Linear MR = 8000 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada Simples	15,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
3	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	18,0	Resiliente Linear MR = 150 MPa	0,35
4	SUBLEITO Solo Siltoso NS'	SL	Resiliente Linear MR = 189 MPa	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO: Concreto Betuminoso com Polímero

Propriedades

Modelos

Propriedades

Tipo de CAP = Asfalto Modificado
Aditivo Modificador = Polímero
Massa específica (g/cm³) = 2,4
Resistência à tração (MPa) = 1,28
Teor de asfalto (%) = ...
Volume de vazios (%) = ...
Faixa Granulométrica = ...
Abrasão Los Angeles (%) = ...
Norma ou Especificação = DNIT ES 385

Modelos

Ensaio de Fadiga
-Modelo: **$k_1 \cdot (e^t \wedge k_2)$**
-Coeficiente de Regressão (k1): **$\geq 1,0e-12$**
-Coeficiente de Regressão (k2): **$\geq -3,75$**
-Classe de Fadiga: **≥ 3**
-FFM (100µ a 250µ): **$\geq 0,90$**
Flow Number Mínimo
- Condição de Tráfego Normal: **≥ 303** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: **≥ 817** ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada Simples

Propriedades

Descrição do Material = Brita Graduada Simples
Massa específica (g/cm³) = 2,25
Umidade Ótima (%) = 5,0
Energia Compactação = Modificada
Abrasão Los Angeles (%) = 43
Faixa Granulométrica = ...
Norma ou Especificação = DNIT ES 141

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
Modelo: **$ep = \psi_1 \cdot (s_3 \wedge \psi_2) \cdot (sd \wedge \psi_3) \cdot (N \wedge \psi_4)$**
Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,0868**
Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **-0,2801**
Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **0,8929**
Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,0961**

3 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco

Propriedades

Descrição do Material = Macadame Seco
Massa específica (g/cm³) = 1,8
Umidade Ótima (%) = 13
Energia Compactação = Normal
Abrasão Los Angeles (%) = ...
Faixa Granulométrica = ...
Norma ou Especificação = DNIT ES 137

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
Modelo: **$ep = \psi_1 \cdot (s_3 \wedge \psi_2) \cdot (sd \wedge \psi_3) \cdot (N \wedge \psi_4)$**
Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,31**
Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **0,06**
Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **0,85**
Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,05**

4 - SUBLEITO: Solo Siltoso NS'

Propriedades

Descrição do Material = Solo siltoso Papucaia - RJ
Grupo MCT = NS'
MCT - Coeficiente c' = 1,00
MCT - Índice e' = 1,68
Massa específica (g/cm³) = 1,8
Umidade Ótima (%) = 13,0
Energia Compactação = Normal
Norma ou Especificação = DNIT ES 137

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
Modelo: **$ep = \psi_1 \cdot (s_3 \wedge \psi_2) \cdot (sd \wedge \psi_3) \cdot (N \wedge \psi_4)$**
Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,244**
Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **0,419**
Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **1,309**
Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,069**

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **3205**
Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **1,00**
Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **1,17e+06**
% Veículos na faixa de projeto: **100%**
Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **1,17e+06**
Taxa de crescimento do tráfego: **0,0%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = 1,17e+07

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo simples de roda dupla	100%	8,20	1,000	1,000

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	9,750e+04	1,49%	3,0
6	5,850e+05	3,16%	3,4
12	1,170e+06	4,65%	3,6
18	1,755e+06	6,16%	3,7
24	2,340e+06	7,79%	3,8
30	2,925e+06	9,60%	3,8
36	3,510e+06	11,62%	3,9
42	4,095e+06	13,86%	3,9
48	4,680e+06	16,35%	3,9
54	5,265e+06	19,08%	4,0
60	5,850e+06	22,05%	4,0
66	6,435e+06	25,26%	4,0
72	7,020e+06	28,69%	4,1
78	7,605e+06	32,31%	4,1
84	8,190e+06	36,11%	4,1
90	8,775e+06	40,05%	4,1
96	9,360e+06	44,11%	4,1
102	9,945e+06	48,23%	4,2
108	1,053e+07	52,40%	4,2
114	1,112e+07	56,58%	4,2
120	1,170e+07	60,72%	4,2

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	1,34
3	MATERIAL GRANULAR	1,38
4	SUBLEITO	1,49
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		4,2

Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO - Concreto Betuminoso com Polímero

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	42	35	30	24	19	13	10	9	7
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	26	20	17	12	9	6	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada Simples

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	64	42	32	23	18	13	10	9	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	55	28	19	12	8	5	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Macadame Seco

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	70	39	29	21	17	13	10	8	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	78	28	17	11	8	5	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - Solo Siltoso NS'

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	60	37	28	21	17	12	10	8	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	63	25	16	11	8	5	4	3	3

Programa MeDiNa v.1.1.2.0 - abr/2019

Cópia registrada para Matheus (mnsousa.96@gmail.com), da empresa IFSC..

Análise do pavimento

Empresa: **IFSC**

Nome do Projeto:

Responsável pelo projeto: **Matheus**

Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Primário**

Nível de confiabilidade: **85%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **27/07/2019 às 10:03:45** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **69,0%.**

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **4,4mm**

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento da estrutura do pavimento!
- Tráfego elevado para a estrutura proposta.

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicados na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso.

Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO Concreto Betuminoso com Polímero	10,0	Resiliente Linear MR = 8000 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada Simples	15,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
3	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	21,0	Resiliente Linear MR = 150 MPa	0,35
4	SUBLEITO Solo Siltoso NS'	SL	Resiliente Linear MR = 189 MPa	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO: Concreto Betuminoso com Polímero

Propriedades

Modelos

Propriedades

Tipo de CAP = Asfalto Modificado
Aditivo Modificador = Polímero
Massa específica (g/cm³) = 2,4
Resistência à tração (MPa) = 1,28
Teor de asfalto (%) = ...
Volume de vazios (%) = ...
Faixa Granulométrica = ...
Abrasão Los Angeles (%) = ...
Norma ou Especificação = DNIT ES 385

Modelos

Ensaio de Fadiga
-Modelo: **$k_1 \cdot (e^t)^{k_2}$**
-Coeficiente de Regressão (k1): **$\geq 1,0e-12$**
-Coeficiente de Regressão (k2): **$\geq -3,75$**
-Classe de Fadiga: **≥ 3**
-FFM (100µ a 250µ): **$\geq 0,90$**
Flow Number Mínimo
- Condição de Tráfego Normal: **≥ 315** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: **≥ 848** ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada Simples

Propriedades

Descrição do Material = Brita Graduada Simples
Massa específica (g/cm³) = 2,25
Umidade Ótima (%) = 5,0
Energia Compactação = Modificada
Abrasão Los Angeles (%) = 43
Faixa Granulométrica = ...
Norma ou Especificação = DNIT ES 141

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
Modelo: **$ep = \psi_1 \cdot (s_3^{\psi_2}) \cdot (sd^{\psi_3}) \cdot (N^{\psi_4})$**
Coeficiente de Regressão (k1 ou ψ_1): **0,0868**
Coeficiente de Regressão (k2 ou ψ_2): **-0,2801**
Coeficiente de Regressão (k3 ou ψ_3): **0,8929**
Coeficiente de Regressão (k4 ou ψ_4): **0,0961**

3 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco

Propriedades

Descrição do Material = Macadame Seco
Massa específica (g/cm³) = 1,8
Umidade Ótima (%) = 13
Energia Compactação = Normal
Abrasão Los Angeles (%) = ...
Faixa Granulométrica = ...
Norma ou Especificação = DNIT ES 137

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
Modelo: **$ep = \psi_1 \cdot (s_3^{\psi_2}) \cdot (sd^{\psi_3}) \cdot (N^{\psi_4})$**
Coeficiente de Regressão (k1 ou ψ_1): **0,31**
Coeficiente de Regressão (k2 ou ψ_2): **0,06**
Coeficiente de Regressão (k3 ou ψ_3): **0,85**
Coeficiente de Regressão (k4 ou ψ_4): **0,05**

4 - SUBLEITO: Solo Siltoso NS'

Propriedades

Descrição do Material = Solo siltoso Papucaia - RJ
Grupo MCT = NS'
MCT - Coeficiente $c' = 1,00$
MCT - Índice $e' = 1,68$
Massa específica (g/cm³) = 1,8
Umidade Ótima (%) = 13,0
Energia Compactação = Normal
Norma ou Especificação = DNIT ES 137

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
Modelo: **$ep = \psi_1 \cdot (s_3^{\psi_2}) \cdot (sd^{\psi_3}) \cdot (N^{\psi_4})$**
Coeficiente de Regressão (k1 ou ψ_1): **0,244**
Coeficiente de Regressão (k2 ou ψ_2): **0,419**
Coeficiente de Regressão (k3 ou ψ_3): **1,309**
Coeficiente de Regressão (k4 ou ψ_4): **0,069**

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **3507**
Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **1,00**
Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **1,28e+06**
% Veículos na faixa de projeto: **100%**
Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **1,28e+06**
Taxa de crescimento do tráfego: **0,0%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = 1,28e+07

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo simples de roda dupla	100%	8,20	1,000	1,000

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	1,067e+05	1,54%	3,1
6	6,400e+05	3,32%	3,5
12	1,280e+06	4,95%	3,7
18	1,920e+06	6,64%	3,8
24	2,560e+06	8,51%	3,9
30	3,200e+06	10,61%	4,0
36	3,840e+06	12,97%	4,0
42	4,480e+06	15,62%	4,1
48	5,120e+06	18,57%	4,1
54	5,760e+06	21,82%	4,1
60	6,400e+06	25,35%	4,2
66	7,040e+06	29,14%	4,2
72	7,680e+06	33,18%	4,2
78	8,320e+06	37,41%	4,2
84	8,960e+06	41,81%	4,3
90	9,600e+06	46,33%	4,3
96	1,024e+07	50,91%	4,3
102	1,088e+07	55,51%	4,3
108	1,152e+07	60,09%	4,3
114	1,216e+07	64,59%	4,3
120	1,280e+07	68,99%	4,4

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	1,35
3	MATERIAL GRANULAR	1,58
4	SUBLEITO	1,44
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		4,4

Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO - Concreto Betuminoso com Polímero

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	42	35	30	24	19	13	10	9	7
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	26	20	17	12	9	6	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada Simples

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	65	43	32	23	18	13	10	9	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	56	29	19	12	8	5	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Macadame Seco

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	71	40	29	21	17	13	10	8	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	79	29	17	11	8	5	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - Solo Siltoso NS'

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	60	37	28	21	17	12	10	8	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	63	25	16	11	8	5	4	3	3

Programa MeDiNa v.1.1.2.0 - abr/2019

Cópia registrada para Matheus (mnsousa.96@gmail.com), da empresa IFSC..

Dimensionamento do pavimento

Empresa: **IFSC**

Nome do Projeto:

Responsável pelo projeto: **Matheus**

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Primário**

Nível de confiabilidade: **85%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **27/07/2019 às 10:31:07** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **28,9%**

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **4,6mm**

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicados na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso.

Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO Concreto Betuminoso com Polímero	13,0	Resiliente Linear MR = 8000 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada Simples	33,8	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
3	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	40,0	Resiliente Linear MR = 150 MPa	0,35
4	SUBLEITO Solo Siltoso NS'	SL	Resiliente Linear MR = 189 MPa	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO: Concreto Betuminoso com Polímero

Propriedades

Tipo de CAP = Asfalto Modificado

Aditivo Modificador = Polímero

Massa específica (g/cm³) = 2,4

Resistência à tração (MPa) = 1,28

Teor de asfalto (%) = ...

Volume de vazios (%) = ...

Faixa Granulométrica = ...

Abrasão Los Angeles (%) = ...

Norma ou Especificação = DNIT ES 385

Modelos

Ensaio de Fadiga

-Modelo: **$k_1 \cdot (et)^{k_2}$**

-Coeficiente de Regressão (k1): **$\geq 1,0e-12$**

-Coeficiente de Regressão (k2): **$\geq -3,75$**

-Classe de Fadiga: **≥ 3**

-FFM (100μ a 250μ): **$\geq 0,90$**

Flow Number Mínimo

- Condição de Tráfego Normal: **≥ 303** ciclos

- Condição de Tráfego Severa: **≥ 817** ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada Simples

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada Simples	Ensaio de Deformação Permanente
Massa específica (g/cm³) = 2,25	Modelo: $ep = psi1.(s3^{psi2}).(sd^{psi3}).(N^{psi4})$
Umidade Ótima (%) = 5,0	Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,0868
Energia Compactação = Modificada	Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,2801
Abrasão Los Angeles (%) = 43	Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,8929
Faixa Granulométrica = ...	Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0961
Norma ou Especificação = DNIT ES 141	

3 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Macadame Seco	Ensaio de Deformação Permanente
Massa específica (g/cm³) = 1,8	Modelo: $ep = psi1.(s3^{psi2}).(sd^{psi3}).(N^{psi4})$
Umidade Ótima (%) = 13	Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,31
Energia Compactação = Normal	Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): 0,06
Abrasão Los Angeles (%) = ...	Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,85
Faixa Granulométrica = ...	Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,05
Norma ou Especificação = DNIT ES 137	

4 - SUBLEITO: Solo Siltoso NS'

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Solo siltoso Papucaia - RJ	Ensaio de Deformação Permanente
Grupo MCT = NS'	Modelo: $ep = psi1.(s3^{psi2}).(sd^{psi3}).(N^{psi4})$
MCT - Coeficiente $c' = 1,00$	Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,244
MCT - Índice $e' = 1,68$	Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): 0,419
Massa específica (g/cm³) = 1,8	Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,309
Umidade Ótima (%) = 13,0	Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,069
Energia Compactação = Normal	
Norma ou Especificação = DNIT ES 137	

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **3205**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **1,00**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **1,17e+06**

% Veículos na faixa de projeto: **100%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **1,17e+06**

Taxa de crescimento do tráfego: **0,0%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **1,17e+07**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo simples de roda dupla	100%	8,20	1,000	1,000

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	9,750e+04	1,24%	3,2
6	5,850e+05	2,49%	3,7
12	1,170e+06	3,48%	3,9
18	1,755e+06	4,37%	4,0
24	2,340e+06	5,26%	4,1
30	2,925e+06	6,18%	4,2
36	3,510e+06	7,15%	4,2
42	4,095e+06	8,17%	4,3
48	4,680e+06	9,26%	4,3
54	5,265e+06	10,43%	4,4
60	5,850e+06	11,68%	4,4
66	6,435e+06	13,01%	4,4
72	7,020e+06	14,42%	4,4
78	7,605e+06	15,92%	4,5
84	8,190e+06	17,52%	4,5
90	8,775e+06	19,20%	4,5
96	9,360e+06	20,97%	4,5
102	9,945e+06	22,83%	4,6
108	1,053e+07	24,77%	4,6
114	1,112e+07	26,79%	4,6
120	1,170e+07	28,89%	4,6

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	2,44
3	MATERIAL GRANULAR	1,58
4	SUBLEITO	0,60
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		4,6

Controle por Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO - Concreto Betuminoso com Polímero

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	34	30	27	22	19	14	11	9	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	20	16	14	11	9	6	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada Simples

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	52	37	31	24	19	14	11	9	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	45	23	17	12	9	6	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Macadame Seco

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	76	43	31	22	18	13	10	8	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	83	31	19	12	8	5	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - Solo Siltoso NS'

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	60	37	28	21	17	12	10	8	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	63	25	16	11	8	5	4	3	3

Programa MeDiNa v.1.1.2.0 - abr/2019

Cópia registrada para Matheus (mnsousa.96@gmail.com), da empresa IFSC..

Dimensionamento do pavimento

Empresa: **IFSC**

Nome do Projeto:

Responsável pelo projeto: **Matheus**

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Primário**

Nível de confiabilidade: **85%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **27/07/2019 às 10:34:49** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **29,0%**

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **5,6mm**

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicados na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso.

Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO Concreto Betuminoso com Polímero	15,0	Resiliente Linear MR = 8000 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada Simples	36,9	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
3	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada Simples	40,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
4	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	40,0	Resiliente Linear MR = 150 MPa	0,35
5	SUBLEITO Solo Siltoso NS'	SL	Resiliente Linear MR = 189 MPa	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO: Concreto Betuminoso com Polímero

Propriedades

Modelos

Propriedades

Tipo de CAP = Asfalto Modificado
Aditivo Modificador = Polímero
Massa específica (g/cm³) = 2,4
Resistência à tração (MPa) = 1,28
Teor de asfalto (%) = ...
Volume de vazios (%) = ...
Faixa Granulométrica = ...
Abrasão Los Angeles (%) = ...
Norma ou Especificação = DNIT ES 385

Modelos

Ensaio de Fadiga
-Modelo: **k1 .(et ^ k2)**
-Coeficiente de Regressão (k1): **≥ 1,0e-12**
-Coeficiente de Regressão (k2): **≥ -3,75**
-Classe de Fadiga: **≥ 3**
-FFM (100µ a 250µ): **≥ 0,90**
Flow Number Mínimo
- Condição de Tráfego Normal: **≥ 406** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: **≥ 1075** ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada Simples

Propriedades

Descrição do Material = Brita Graduada Simples
Massa específica (g/cm³) = 2,25
Umidade Ótima (%) = 5,0
Energia Compactação = Modificada
Abrasão Los Angeles (%) = 43
Faixa Granulométrica = ...
Norma ou Especificação = DNIT ES 141

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
Modelo: **ep = psi1.(s3^psi2).(sd ^psi3).(N^psi4)**
Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,0868**
Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **-0,2801**
Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **0,8929**
Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,0961**

3 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada Simples

Propriedades

Descrição do Material = Brita Graduada Simples
Massa específica (g/cm³) = 2,25
Umidade Ótima (%) = 5,0
Energia Compactação = Modificada
Abrasão Los Angeles (%) = 43
Faixa Granulométrica = ...
Norma ou Especificação = DNIT ES 141

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
Modelo: **ep = psi1.(s3^psi2).(sd ^psi3).(N^psi4)**
Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,0868**
Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **-0,2801**
Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **0,8929**
Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,0961**

4 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco

Propriedades

Descrição do Material = Macadame Seco
Massa específica (g/cm³) = 1,8
Umidade Ótima (%) = 13
Energia Compactação = Normal
Abrasão Los Angeles (%) = ...
Faixa Granulométrica = ...
Norma ou Especificação = DNIT ES 137

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
Modelo: **ep = psi1.(s3^psi2).(sd ^psi3).(N^psi4)**
Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,31**
Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **0,06**
Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **0,85**
Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,05**

5 - SUBLEITO: Solo Siltoso NS'

Propriedades

Descrição do Material = Solo siltoso Papucaia - RJ
Grupo MCT = NS'
MCT - Coeficiente c' = 1,00
MCT - Índice e' = 1,68
Massa específica (g/cm³) = 1,8
Umidade Ótima (%) = 13,0
Energia Compactação = Normal
Norma ou Especificação = DNIT ES 137

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
Modelo: **ep = psi1.(s3^psi2).(sd ^psi3).(N^psi4)**
Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,244**
Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **0,419**
Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **1,309**
Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,069**

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **6247**
Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **1,00**
Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **2,28e+06**
% Veículos na faixa de projeto: **100%**
Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,28e+06**
Taxa de crescimento do tráfego: **0,0%**
Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **2,28e+07**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo simples de roda dupla	100%	8,20	1,000	1,000

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	1,900e+05	1,24%	3,7
6	1,140e+06	2,49%	4,3
12	2,280e+06	3,48%	4,6
18	3,420e+06	4,38%	4,8
24	4,560e+06	5,27%	4,9
30	5,700e+06	6,19%	5,0
36	6,840e+06	7,16%	5,1
42	7,980e+06	8,19%	5,1
48	9,120e+06	9,29%	5,2
54	1,026e+07	10,46%	5,2
60	1,140e+07	11,71%	5,3
66	1,254e+07	13,04%	5,3
72	1,368e+07	14,46%	5,4
78	1,482e+07	15,97%	5,4
84	1,596e+07	17,57%	5,4
90	1,710e+07	19,26%	5,5
96	1,824e+07	21,04%	5,5
102	1,938e+07	22,91%	5,5
108	2,052e+07	24,86%	5,5
114	2,166e+07	26,89%	5,6
120	2,280e+07	28,99%	5,6

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	2,62

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
3	MATERIAL GRANULAR	1,49
4	MATERIAL GRANULAR	1,08
5	SUBLEITO	0,41
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		5,6

Controle por Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO - Concreto Betuminoso com Polímero

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	28	25	22	19	17	13	11	9	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	16	13	11	9	7	5	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada Simples

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	43	30	25	20	18	14	11	9	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	39	18	13	10	8	6	4	4	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada Simples

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	50	35	29	23	19	14	11	9	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	43	22	16	12	9	6	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Macadame Seco

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	76	43	31	22	18	13	10	8	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	83	31	19	12	8	5	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - Solo Siltoso NS'

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	60	37	28	21	17	12	10	8	8
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	63	25	16	11	8	5	4	3	3