

Bárbara Ribeiro Costa

**AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PELO MÉTODO MeDiNa NO CONTEXTO
BRASILEIRO**

Florianópolis, 2021.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Bárbara Ribeiro Costa

**AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PELO MÉTODO MeDiNa NO CONTEXTO
BRASILEIRO**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^ª. Liseane Padilha Thives, Dr^ª.

Florianópolis, 2021.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Costa, Bárbara Ribeiro
AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PELO MÉTODO MeDiNa NO CONTEXTO
BRASILEIRO / Bárbara Ribeiro Costa ; orientador, Liseane
Padilha Thives, 2021.
164 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. MeDiNa. 3. Dimensionamento. 4.
Pavimento flexível. 5. Método empírico-mecanicista. I.
Thives, Liseane Padilha. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Bárbara Ribeiro Costa

**AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PELO MÉTODO MeDiNa NO CONTEXTO
BRASILEIRO**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro Civil” e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 07 de maio de 2021.

Prof.^a Lia Caetano Bastos, Dr.^a.
Coordenadora do TCC

Banca Examinadora:

Prof.^a Liseane Padilha Thives, Dr.^a.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Alexandre Mosimann Silveira, Eng.
Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora por sempre me guiarem, protegerem e estarem comigo, manifestando seu amor nos momentos em que mais precisei.

Aos meus pais, Daurio e Simone por serem meu alicerce e amparo durante toda esta trajetória. Por incentivar, apoiar e investir em meus estudos e me mostrarem as verdadeiras riquezas desta vida. Meus maiores mestres e exemplos de vida. A vocês, meu amor incondicional.

Às minhas irmãs e melhores amigas, Amanda e Camila, onde eu encontro conforto e amor genuíno que me servem de incentivo e força para continuar. Amo vocês.

À minha querida orientadora, Liseane Padilha Thives, por toda sabedoria, maestria e leveza em conduzir a orientação deste trabalho. Obrigada pela amizade e esforços dedicados a mim em todos os momentos que precisei. Exemplo de competência, profissionalismo e dedicação.

Aos meus amados amigos, por serem minha família longe de casa. A todos vocês, agradeço pelos momentos de descontração, que foram essenciais para eu chegar até aqui.

A empresa Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia por disponibilizar os dados utilizados nesta pesquisa e aos seus profissionais pelos ensinamentos transmitidos.

Por fim, agradeço imensamente aos professores, profissão que tem a minha total admiração, e profissionais com quem muito aprendi ao longo destes anos.

RESUMO

No Brasil, uma das causas do fraco desempenho dos pavimentos flexíveis é atribuída ao método de dimensionamento de pavimentos flexíveis, cuja última atualização foi na década de 1980. O método empírico estabelece uma estrutura de proteção do subleito com determinada capacidade de suporte dada pelo índice de Suporte Califórnia, de deformações permanentes. No entanto, considerando o aumento das cargas de tráfego, variações climáticas, pequena vida útil de projeto e a evolução de métodos de dimensionamento empírico-mecanicistas, no Brasil houve a necessidade de desenvolvimento de um novo método. Neste contexto se insere o Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa), empírico-mecanicista, o qual está em fase de implantação no país. O objetivo deste trabalho é realizar um estudo comparativo entre os métodos de dimensionamento existentes no país (DNER/1981 e DNER-PRO 269/94), com o método MeDiNa para avaliar sua implantação no Brasil. Foram dimensionadas estruturas de duas rodovias brasileiras através dos três métodos. Por meio do *software* MeDiNa foram avaliados o percentual de área trincada e o afundamento de trilha de roda. Adicionalmente foi realizada uma breve comparação financeira. Observou-se que a carência de ensaios laboratoriais dos materiais constituintes da estrutura do pavimento se apresenta como uma das principais deficiências para a implantação da metodologia no país. Por meio dos resultados obtidos, verificou-se que as estruturas dimensionadas pelo novo método empírico-mecanicista apresentam um desempenho superior quando comparado àquelas dimensionadas pelos métodos empíricos. Recomenda-se a necessidade de avaliação dos materiais das camadas para obtenção de resultados adequados, por meio de ensaios de laboratório de acordo com as normas, necessária à implantação do método MeDiNa.

Palavras-chave: Dimensionamento; MeDiNa; Pavimento flexível.

ABSTRACT

In Brazil, one of the causes of the poor flexible pavements performance is attributed to the design method, with the last update in the 1980s. The empirical method establishes a thickness to protect the subgrade with a certain support capacity given by the California Bearing Ratio from permanent deformations. However, considering the increase in traffic loads, climatic variations, short project life, and the evolution of empirical-mechanistic design methods, there was a need to develop a new method in Brazil. In this context, the National Design Method (MeDiNa) is inserted, an empirical-mechanistic method, which is being implemented in the country. This work aims to carry out a comparative study between the sizing methods existing in the country (DNER / 1981 and DNER-PRO 269/94), with the MeDiNa method to evaluate its implantation in Brazil. Structures of two Brazilian highways were designed using the three methods. Using the MeDiNa software, the cracked area percentage and the permanent deformation were evaluated. In addition, a brief financial comparison was performed. It was observed that the lack of laboratory tests of the materials constituting the pavement structure is presented as one of the main deficiencies for the implementation of the methodology in the country. The obtained results showed that the designed structures by the new empirical-mechanistic method present a superior performance compared to those dimensioned by the empirical methods. It is recommended to evaluate the materials of the layers to obtain adequate results through laboratory tests following the standards necessary for the implementation of the MeDiNa method.

Keywords: Design; MeDiNa; Flexible pavement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura de um pavimento rígido.....	24
Figura 2. Estrutura de um pavimento flexível.....	25
Figura 3. Parâmetros avaliados na análise empírico-mecanicista	30
Figura 4. Esquema de proposta de método de dimensionamento proposto por MOTTA...	33
Figura 5. Fluxograma de dimensionamento desenvolvido por FRANCO	34
Figura 6. Tela inicial do software MeDiNa.....	37
Figura 7. Curva Sigmoide.....	39
Figura 8. Função de transferência proposta para previsão de área trincada	40
Figura 9. Gráfico de definição fator de fadiga na mistura adotado pelo MeDiNa	41
Figura 10. Classes de Misturas Asfálticas	42
Figura 11. Estrutura 01 dimensionada segundo o DNER (1981).....	47
Figura 12. Estrutura 02 dimensionada segundo o MeDiNa (2019).....	48
Figura 13. Estrutura 03 dimensionada segundo o MeDiNa (2019).....	48
Figura 14. Estrutura E01 - Solo 1 – DNER (1981)	50
Figura 15. Estrutura E02 - Solo 2 – DNER (1981)	50
Figura 16. Estrutura E03 - Solo 1 – MeDiNa (2018)	51
Figura 17. Estrutura E04 - Solo 2 – MeDiNa (2018)	51
Figura 18. Fluxograma da metodologia do trabalho.....	54
Figura 19. Mapa de Situação BR 280/SC – Lote 22	55
Figura 20. Mapa de Situação SC-281	58
Figura 21. Camadas do pavimento	63
Figura 22. Tela do software MeDiNa para cálculo do número N	69
Figura 23. Estrutura 01 da rodovia BR-280 – Lote 22 dimensionada pelo método DNER (1981)	75
Figura 24. Estrutura 02 da rodovia SC-281 dimensionada pelo método DNER (1981)	77
Figura 25. Estrutura 03 da rodovia SC-281 dimensionada pelo método DNER (1981)	78
Figura 26. Estrutura 04 da rodovia BR-280 – Lote 22 dimensionada pelo método DNER-PRO 269/94	79
Figura 27. Estrutura 05 da rodovia BR-280 – Lote 22 dimensionada pelo método DNER-PRO 269/94	80
Figura 28. Estrutura 06 da rodovia SC-281 dimensionada pelo método DNER-PRO 269/94	82

Figura 29. Estrutura 07 da rodovia SC-281 dimensionada pelo método DNER-PRO 269/94	83
Figura 30. Alerta emitido pelo software MeDiNa.....	84
Figura 31. Estrutura 08 dimensionada pelo <i>software</i> MeDiNa	84
Figura 32. Estrutura 09 dimensionada pelo <i>software</i> MeDiNa	85
Figura 33. Estrutura 10 dimensionada pelo software MeDiNa	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Grandezas e unidades do programa MeDiNa	38
Tabela 2. Classes de Misturas Asfálticas.....	41
Tabela 3. Critérios para estabelecer a aderência entre as camadas	42
Tabela 4. Critérios de parada e confiabilidade do software MeDiNa	43
Tabela 5. Limite das classes de desempenho	43
Tabela 6. Parâmetros do subleito.....	46
Tabela 7. Parâmetros de resiliência e deformação permanente.....	46
Tabela 8. Parâmetros dos revestimentos asfálticos	47
Tabela 9. Parâmetros do módulo de resiliência não lineares dos solos.....	49
Tabela 10. . Parâmetros de deformação permanente dos solos em estudo (MPa).....	49
Tabela 11. Parâmetros do concreto asfáltico	50
Tabela 12. Resumo do Volume Médio Diário Anual de Tráfego da rodovia BR-280/SC..	57
Tabela 13. Resumo do Volume Médio Diário Anual de Tráfego da rodovia SC-281	59
Tabela 14. Valores da relação entre o Índice de Grupo e o CBR corrigido	60
Tabela 15. Características dos materiais do pavimento.....	60
Tabela 16. Faixas granulométricas para materiais granulares.....	61
Tabela 17. Valores de porcentagem de veículos para o número de faixas solicitadas	62
Tabela 18. Fatores de equivalência de carga da USACE	62
Tabela 19. Espessura mínima de revestimento.....	62
Tabela 20. Coeficiente de Equivalência Estrutural	64
Tabela 21. Grupos de Solos quanto à resiliência.....	64
Tabela 22. Valores das constantes I_1 e I_2	65
Tabela 23. Valor estrutural da camada betuminosa.....	66
Tabela 24. Parâmetros do revestimento asfáltico	67
Tabela 25. Parâmetros dos materiais de base e sub-base do pavimento.....	67
Tabela 26. Parâmetros Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC).....	68
Tabela 27. Parâmetros do subleito.....	69
Tabela 28. Fator de Veículo por eixo (BR-280/SC).....	70
Tabela 29. Fator de Veículo por eixo (SC-281)	71
Tabela 30. Custo unitário por serviço.....	72
Tabela 31. Fatores de Equivalência da rodovia BR-280/SC	74
Tabela 32. Dados obtidos no dimensionamento do pavimento	75
Tabela 33. Desempenho da Estrutura 01 no software MeDiNa	76

Tabela 34. Fatores de Veículo da rodovia SC-281	76
Tabela 35. Dados obtidos no dimensionamento do pavimento	77
Tabela 36. Desempenho da Estrutura 02 no software MeDiNa	78
Tabela 37. Desempenho da Estrutura 03 no software MeDiNa	78
Tabela 38. Dados obtidos no dimensionamento do pavimento	79
Tabela 39. Desempenho da Estrutura 04 no software MeDiNa	80
Tabela 40. Desempenho da Estrutura 05 no software MeDiNa	81
Tabela 41. Dados obtidos no dimensionamento do pavimento	81
Tabela 42. Desempenho da Estrutura 06 no software MeDiNa	82
Tabela 43. Desempenho da Estrutura 07 no software MeDiNa	83
Tabela 44. Desempenho da Estrutura 08 no software MeDiNa	85
Tabela 45. Desempenho da Estrutura 10 no software MeDiNa	87
Tabela 46. Desempenho da Estrutura 11 no software MeDiNa	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEMC	Análise Elástica de Múltiplas Camadas
APDG	<i>Austroroads Pavement Design Guide</i>
ATR	Afundamento de Trilha de Roda
B	Espessura da camada de base
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBR	<i>California Bearing Ratio Index</i>
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
cm	Centímetro
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
D	Deflexão máxima admissível
\underline{D}	Deflexão máxima admissível
$D_{\text{médio}}$	Dano médio
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
DP	Deformação permanente
D_{pj}	Deflexão de projeto
E	Módulo de elasticidade
E_f	Módulo Final
E_i	Módulo Inicial
ESRD	Eixo Simples Roda Dupla
ESRS	Eixo Simples Roda Simples
ETD	Eixo Tandem Duplo
ETT	Eixo Tandem Triplo
EUA	Estados Unidos da América
FC	Fator de equivalência de carga por eixo
FEPAVE2	<i>Finite Element Analysis of Pavement</i>
F_p	Fator de pista
F_R	Fator climático regional

FV	Fator de veículo
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
g	Gramas
H ₂₀	Espessura de pavimento necessária para proteger a sub-base
h ₂₀	Espessura da camada de sub-base
H _{CB}	Espessura mínima da camada asfáltica
H _{cg}	Espessura mínima da camada asfáltica
H _m	Espessura total de pavimento
H _n	Espessura de pavimento necessária para proteger o reforço do subleito
h _n	Espessura da camada de reforço do subleito
h _{ref}	Espessura do reforço
I ₁ e I ₂	Constantes relacionadas às características resilientes da terceira camada da estrutura de referência
IG	Índice de Grupo
IP	Índice de Plasticidade
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
ISC	Índice de Suporte Califórnia
K	Coefficiente de Equivalência Estrutural
k ₁ , k ₂ , k ₃ e k ₄	Coefficientes de regressão
K _B	Coefficiente de equivalência estrutural da base
km	Quilômetro
K _R	Coefficiente de equivalência estrutural do revestimento
K _{REF}	Coefficiente de equivalência estrutural do reforço de subleito
K _S	Coefficiente de equivalência estrutural da sub-base
LL	Limite de Liquidez
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
MeDiNa	Método de Dimensionamento Nacional de pavimentos
MEPDG	<i>Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide</i>
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
MR	Módulo Resiliente
N'	Número N ajustado
NBR	Norma Brasileira

n°	Número
P	Carga por eixo em tonelada
R	Espessura da camada de revestimento
RP	Repetições de eixo padrão
t	Tonelada
TCU	Comprimento de trincas longitudinais
TECNAPAV	Tecnologia Nacional para Restauração de Pavimentos
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i>
V _E	Valor estrutural da camada betuminosa
VMD	Volume médio diário de veículos
<i>Nfad</i>	Número de ciclos de fadiga
<i>fS</i>	Fator de deslocamento

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
ε	Deformação
μ	Micro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	Objetivo Geral.....	22
1.2	Objetivos Específicos.....	22
1.3	Estrutura do Trabalho	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	Estrutura das Camadas do Pavimento Rodoviário	24
2.2	Rupturas do Pavimento	26
2.3	Métodos de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis.....	26
2.3.1	Métodos Empíricos.....	28
2.3.2	Métodos Empírico-mecanicistas.....	29
2.4	Método de Dimensionamento do DNIT.....	31
2.5	DNER-PRO 269/94 - Método da resiliência (TECNAPAV).....	31
2.6	Método de Motta (1991)	32
2.7	Método SisPav	33
2.8	MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional.....	35
2.8.1	Hipóteses de cálculo consideradas no MeDiNa.....	37
2.8.2	Calibração e validação.....	38
2.8.3	Critério de fadiga	40
2.8.4	Critério de aderência.....	42
2.8.5	Critério de parada	43
2.8.6	Deformação permanente	43
2.8.7	Ensaio Laboratoriais	44
2.8.8	Comparação entre o método do DNIT e métodos empírico-mecanicistas.....	45
3	METODOLOGIA.....	53
3.1	Projetos selecionados para o estudo de caso	54
3.1.1	Rodovia BR-280/SC – Lote 22.....	54
3.1.2	Rodovia SC-281 (km 23,050 ao km 45,913).....	57
3.2	DNER (1981).....	59
3.3	DNER-PRO 269/94 - Método da resiliência (TECNAPAV).....	64
3.4	MeDiNa	66
3.5	Orçamento.....	72
4	RESULTADOS	73
4.1	Dimensionamento pelo método do DNER (1981).....	73
4.2	Dimensionamento pelo método do DNER-PRO 269/94 - Método da resiliência (TECNAPAV) ..	79
4.3	MeDiNa	83
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	88
5.1	Considerações Finais	88
5.2	Sugestão para trabalhos futuros	89
6	REFERÊNCIAS	90
	ANEXO A – FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE OPERAÇÃO	97

ANEXO B – REPRESENTAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE PESO POR EIXO	98
ANEXO C – CLASSIFICAÇÃO DE VEÍCULOS	100
ANEXO D – ÁBACO PARA OBTER A ESPESSURA DO PAVIMENTO (DNER)	106
ANEXO E – VOLUME MÉDIO DIÁRIO ANUAL DE TRÁFEGO – BR-280/ LOTE 22	107
ANEXO F – VOLUME MÉDIO DIÁRIO ANUAL DE TRÁFEGO - SC-281	108
APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTOS REALIZADOS NO <i>SOFTWARE</i> MEDINA	109

1 INTRODUÇÃO

A maior parte dos pavimentos rodoviários brasileiros é do tipo flexível. O pavimento flexível é composto por uma estrutura de múltiplas camadas cujo revestimento é constituído por materiais asfálticos e as demais camadas por materiais britados e solo de fundação. No entanto, muitas vezes o fraco desempenho é atribuído ao método de dimensionamento brasileiro empírico e antiquado.

O dimensionamento adequado de um pavimento tem por objetivo oferecer segurança e conforto ao usuário durante a vida prevista em projeto. Neste caso, a estrutura do pavimento deve ser dimensionada de modo que a camada do revestimento não apresente trincamentos e afundamentos excessivos, quando submetida a um determinado número de passagens de eixo de carga (FRANCO, 2007).

A metodologia de dimensionamento de pavimentos flexíveis vigente no Brasil tem como principal fundamento o Índice de Suporte Califórnia (CBR – *California Bearing Ratio*), atualmente preconizada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), e possui uma base empírica (COUTINHO, 2011).

De acordo com Coutinho (2011), a determinação da espessura do pavimento nesta metodologia baseia-se principalmente na capacidade de suporte do subleito, no tráfego médio diário, coeficiente estrutural e no fator climático regional. Trata-se de um método generalista, cuja análise é superficial e simplificada no tocante às variáveis que influenciam no desempenho funcional e estrutural de um pavimento. Pode-se citar que não há relação com os principais defeitos do revestimento como fadiga e deformação permanente, além da precária avaliação das diferentes composições do tráfego rodoviário, propriedades dos materiais e condições climáticas.

O método do DNIT se baseia em diretrizes desenvolvidas a partir de observações de determinados tipos de pavimentos, para uma condição específica de clima e material. Por se tratar de um método empírico, e as situações serem tratadas de forma simplificada, seu nível de confiabilidade é baixo para condições diferentes das quais foi criado, o que influencia no desempenho final do pavimento (FERNANDES, 2016). O objetivo do método do DNIT é o cálculo da espessura de pavimento que possa proteger a camada de subleito de deformações excessivas.

Na década de 1990 foi proposto o Método da Resiliência (DNER-PRO 269/94) para restauração de pavimentos, contemplando uma análise empírico-mecanicista no comportamento à fadiga dos materiais (LEHMERT, 2020). Este método foi adaptado para

o dimensionamento de pavimentos novos, porém não é normatizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2017), a degradação precoce do pavimento ocorre, principalmente, pelo método adotado no dimensionamento, que é empírico datado há mais de cinco décadas. Este método não contempla teorias sobre o comportamento elástico das camadas, e não considera os novos tipos de materiais de pavimentação, novos veículos de carga presentes nas rodovias, nova composição do tráfego, nem as diferentes condições climáticas do Brasil.

O Tribunal de Contas da União (TCU), através do Acórdão nº 328/2013 avaliou a qualidade dos serviços executados de onze obras rodoviárias concluídas, sob a gestão do DNIT. Dos onze empreendimentos analisados, nove apresentaram defeitos estruturais precoces, em torno de sete meses após a conclusão da obra, defeitos provenientes da má qualidade na execução dos serviços. Os resultados desta auditoria comprovaram a baixa durabilidade dos pavimentos rodoviários brasileiros, onde os pavimentos não atingem a vida esperada de projeto sem o aparecimento precoce de defeitos como trincamento por fadiga ou deformação permanente. Nestas condições, nota-se que o atual método de dimensionamento não está satisfazendo as condições ideais de forma a evitar a ocorrência destes danos (CNT, 2017; BRASIL, 2013).

Com o passar dos anos houve significativas mudanças nos veículos rodoviários desde aqueles considerados em 1981 (última atualização do método) pelo DNIT, como diferentes composições de eixos, cargas por eixo, contato do pneu com o pavimento e frequência de carregamento. Além destas características, o alto do volume de tráfego nas rodovias causa danos que não são analisados pelos métodos de dimensionamento empíricos. Diante disto, o desenvolvimento de métodos empírico-mecanicistas no Brasil se torna uma necessidade para prever a deterioração da estrutura por meio das tensões, deformações e deflexões geradas pelas solicitações do tráfego (MOTA *et al.*, 2018).

Em agosto de 1962 foi realizada em Michigan a primeira Conferência Internacional de Dimensionamento Estrutural de Pavimentos Asfálticos (*The International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements*), considerada como o marco para o estudo e aplicação dos métodos mecanicistas de dimensionamento. Nesta conferência foram apresentadas importantes contribuições dadas por Whiffin e Lister; Skok e Finn; e Peattie e Dormon, mostrando como a análise de um sistema de múltiplas camadas elásticas poderia ser utilizada para analisar as tensões geradas no pavimento (MONISMITH, 2004).

Os métodos empírico-mecanicistas aplicam princípios da Mecânica dos Pavimentos, o qual considera o pavimento como uma estrutura de múltiplas camadas,

composto por materiais não lineares, sujeito às ações do clima e do tráfego (COUTINHO, 2011). Diante disto, o dimensionamento a partir deste método apresentam resultados mais reais, pois são condizentes com o que ocorre em campo (PELISSON *et al.*, 2015)

Diversos países utilizam um método de dimensionamento de pavimento com enfoque empírico-mecanicista, que modelam a estrutura do pavimento como um sistema linear elástico de múltiplas camadas, como exemplo i) Portugal utiliza o Método Shell para o dimensionamento de pavimentos e leva em consideração critérios de fadiga e deformação permanente e influência da temperatura; ii) Austrália baseia seu dimensionamento no manual técnico de pavimentos da AUSTROADS, *Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design* (2017), que considera a influência externa da temperatura e umidade, além da fadiga e deformação permanente das camadas e deformação no subleito; iii) República da África do Sul usa *South Africa Mechanistic Design Method* (SANDM) para dimensionar pavimentos flexíveis, o método é baseado no uso das características elásticas dos materiais, e previsão de vida útil, além propor modelos de ruptura do revestimento e propõe limites de deformações em materiais granulares e artificialmente cimentados; iv) Estados Unidos da América (EUA) utiliza o *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* (MEPDG) desenvolvido pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO).

O MEPDG foi atualizado em 2019 e seu dimensionamento engloba diferentes configurações de tráfego, caracterizando-o a partir de espectros de carga por eixo (*Axle Load Spectra*), considera também em seu dimensionamento impactos do clima e envelhecimento dos materiais; (AUSTROADS, 2017; MATTOS, 2014, PELISSON *et al.*, 2015; TAVALLAEE *et al.*, 2016).

O dimensionamento de pavimentos por meio dos métodos empírico-mecanicistas utiliza ferramentas computacionais para auxiliar no cálculo dos danos acumulados que ocorrem no pavimento durante a sua vida útil. Com este auxílio é possível realizar comparativos do comportamento do pavimento de acordo com os critérios estabelecidos, e caso estes critérios não sejam atingidos, é possível alterar os parâmetros da estrutura e os materiais utilizados para que a condição estabelecida como ideal seja obtida (PELISSON *et al.*, 2015).

A abordagem empírico-mecanicista nos projetos de dimensionamento permite utilizar as respostas do pavimento (tensões e deformações) para prever seu desempenho por meio de modelos de elementos finitos (SAHA *et al.*, 2012). Esta análise também possibilita a avaliação qualitativa do uso de novos materiais, distintas configurações de

rodas, carregamentos diferentes dos usualmente utilizados, e a consideração de outros fatores que influenciam no desempenho dos pavimentos (NETO, 2004).

O uso dos métodos empíricos, como o do DNIT, é atraente por sua simplicidade, familiaridade com os procedimentos e um longo histórico de experiência. Todavia, este método não atende a atual realidade de cargas e volume de tráfego atuante no pavimento, contrastando com o cenário que vigorava há cerca de sessenta anos (HAAS *et al.*, 2007; MOTA *et al.*, 2018).

Desta forma o uso da metodologia empírico-mecanicista no Brasil representa a oportunidade de aproximar o dimensionamento de um projeto de pavimentação a uma base mais sólida da ciência e da engenharia (HAAS *et al.*, 2007). Além disto, a adoção de um novo método empírico-mecanicista no dimensionamento de pavimentos no país irá contribuir para um aumento na qualidade dos projetos, resultando em uma melhoria significativa da qualidade das rodovias (LEHMERT, 2020).

A partir da década de 1980, o Brasil passou a utilizar métodos empírico-mecanicistas para o dimensionamento de pavimentos flexíveis, devido ao desenvolvimento de programas computacionais que permitissem a análise de tensão e deformação de sistemas em camadas. Porém, os métodos não foram normatizados. O avanço da criação de *softwares*, juntamente com o aumento da capacitação dos laboratórios em realizar ensaios representativos das condições de campo, permitiu a análise mecanicista no dimensionamento de pavimentos (FONTES, 2009).

No Brasil foi proposto por Motta, em 1991, o primeiro método de dimensionamento empírico-mecanicista, resultado da consolidação de estudos da Mecânica dos Pavimentos desenvolvidos no Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. No ano de 2007, em sua tese de doutorado, Franco (2007) desenvolveu um método empírico-mecanicista de pavimentos flexíveis, denominado SisPav. O método desenvolvido por Franco (2007) sofreu modificações e a partir de 2015 recebeu uma atualização sendo a metodologia intitulada por Método de Dimensionamento Nacional para pavimentos flexíveis, MeDiNa, que permite dimensionar pavimentos novos ou restaurados. O novo método já está em vias de implementação.

De acordo com Franco e Motta (2020), o método MeDiNa permite a verificação e o dimensionamento de estruturas de pavimentos empírico-mecanicista, por meio da análise elásticas de múltiplas camadas. O método incorpora um programa de computação, o qual permite ao projetista inserir os dados de seus materiais e suas propriedades mecânicas.

A implantação de um método empírico-mecanicista traz desafios de calibração e validação, determinação dos dados de entrada, estabelecimento de critérios para avaliação do pavimento, plano e cronograma de implementação e investimento em recursos (pesquisas, equipamentos e treinamento), (HAAS *et al.*, 2007).

O novo método de dimensionamento requer dados de ensaios de materiais componentes das camadas do pavimento, bem como resultados de análises mecanicistas da camada de revestimento relativos ao desempenho à fadiga e à deformação permanente. No entanto, para implantação total do MeDiNa em nosso país, é necessário conhecimento dos dados de entrada necessários, também dos ensaios requeridos. Assim, os laboratórios dos órgãos rodoviários, das universidades, das empresas projetistas e construtores devem estar adequadas a esta mudança.

Propõe-se no presente trabalho a aplicação deste novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos em um estudo de caso e os desafios da aplicabilidade deste método no país.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o novo método de dimensionamento empírico-mecanicista de pavimentos asfálticos MeDiNa e identificar as necessidades para implantação no Brasil.

1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar os dados de entrada necessários para o dimensionamento por meio do Método MeDiNa;
- Exemplificar por meio de dimensionamento de estruturas de pavimentos a aplicação dos métodos de dimensionamento;
- Relatar as dificuldades encontradas pela falta de dados,
- Indicar as necessidades para uso do método;
- Difusão do método MeDiNa.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, cujos conteúdos são descritos a seguir.

Capítulo 1: apresenta uma introdução sobre do tema, apresentação dos objetivos e estrutura do trabalho.

Capítulo 2: neste capítulo é realizada uma revisão de literatura acerca dos métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis utilizados no Brasil e sua evolução temporal e fundamentação teórica para se ter uma boa compreensão da metodologia aplicada neste trabalho. Também são apresentados trabalhos de outros autores a respeito do tema.

Capítulo 3: trata da metodologia e procedimentos utilizados para alcançar os objetivos do trabalho. Neste capítulo são apresentadas as rodovias selecionadas para serem estudadas, os materiais e os procedimentos de cálculos utilizados em cada método. Toda metodologia é embasada em literatura e normas que fundamentam o estudo.

Capítulo 4: mostra os resultados e discussões do dimensionamento das rodovias pelos métodos empíricos e empírico-mecanicistas e suas análises no *software* MeDiNa.

Capítulo 5: apresenta as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos na área.

No final do trabalho constam as referências bibliográficas citadas, utilizadas na elaboração do trabalho, bem como anexos e apêndices.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

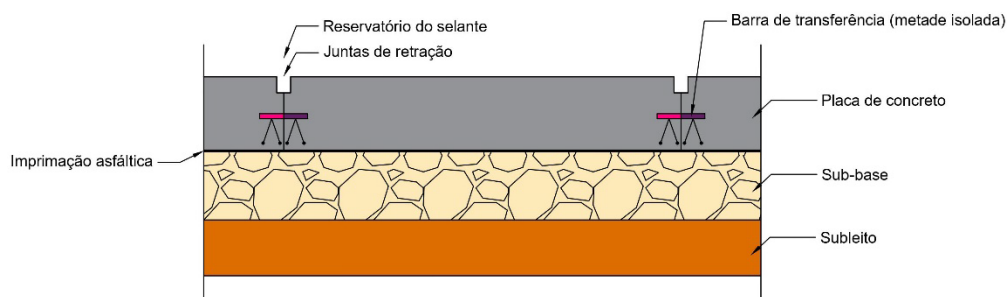
2.1 Estrutura das Camadas do Pavimento Rodoviário

O pavimento de uma rodovia é composto por um sistema de camadas de espessuras finitas sobre um semi-espaço, teoricamente infinito (infraestrutura ou terreno de fundação), designado como subleito (DNIT, 2006).

Os pavimentos são compostos por um sistema de múltiplas camadas que se apoiam sobre o subleito. Podem ser classificados em rígidos, semi-rígidos e flexíveis de acordo com a maneira como cada estrutura distribui os esforços que são aplicados sobre si no subleito (BALBO, 2007).

O pavimento rígido é constituído por uma camada superior de elevada resistência, geralmente cimento *Portland*, que funciona simultaneamente como uma camada de revestimento e de base. Em geral, a estrutura desse pavimento (Figura 1.) é composta por uma camada superficial de concreto apoiada sobre uma sub-base granular ou de material estabilizado ligante hidráulico, alicerçada no subleito ou reforço de subleito, se houver necessidade (RODRIGUES, 2011).

Figura 1. Estrutura de um pavimento rígido



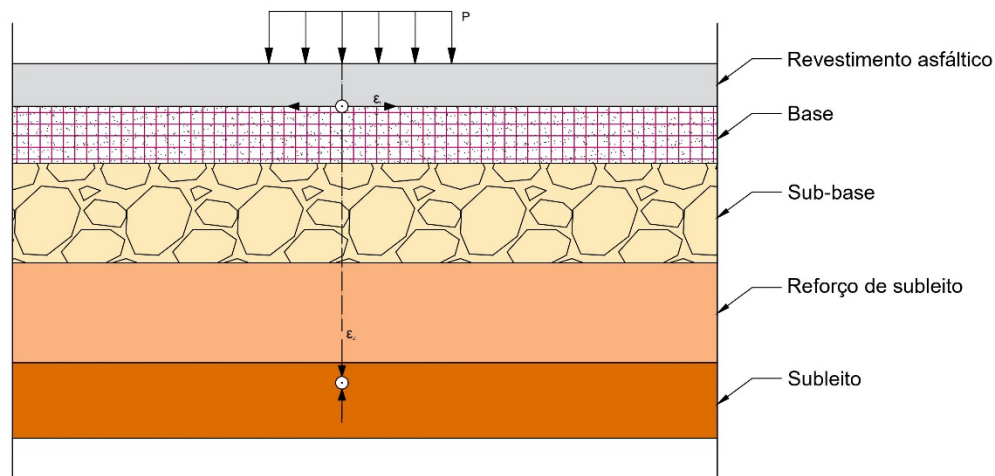
Fonte: Adaptado de BERNUCCI *et al.*, 2010.

Pavimentos semi-rígidos são caracterizados por possuírem uma base cimentada composta por algum aglutinante que possua propriedades cimentícias, podendo ser, por exemplo, uma camada de solo cimento envolta por uma camada asfáltica (DNIT, 2006).

Por outro lado, pavimentos flexíveis são constituídos por uma ou mais camadas de misturas betuminosas apoiadas sobre camadas de material granular. A Figura 2 apresenta um exemplo de uma estrutura de pavimento flexível, composta por quatro camadas, sendo, revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito. A espessura, tipo de material e quantidade das camadas são resultado do dimensionamento, que depende do tráfego. A distribuição das tensões nesta estrutura é feita pela camada de base, dado que a camada de

revestimento asfáltico não possui rigidez suficiente para resistir e distribuir as tensões (FONTES, 2009).

Figura 2. Estrutura de um pavimento flexível



Fonte: Adaptado de FONTES, 2009.

O solo de fundação é a camada final de terraplenagem, a qual, após pequenas espessuras de cortes, aterros e, posterior compactação, denominado de subleito. Quando for necessária a redução da espessura das camadas de base ou de sub-base, ou ainda, por razões econômicas, e quando o subleito não apresenta capacidade de suporte adequada para o tráfego previsto, prevê-se o uso de uma camada de reforço denominada de reforço do subleito. Considerando que nos métodos de dimensionamento empíricos o objetivo é proteger o subleito de deformações excessivas, as camadas de reforço contribuem para evitá-las (FONTES, 2009).

Quando as solicitações à camada de base são elevadas, de modo que resulte em uma alta espessura da camada, o projetista pode optar por dividi-la, resultando na adição de mais uma camada, denominada sub-base.

A camada de base tem por finalidade receber os esforços do revestimento e transmiti-los às demais camadas do pavimento. Podem ser compostas de brita graduada, macadame hidráulico ou seco, brita graduada tratada com cimento ou por misturas de solo-agregado (BRANCO *et al.*, 2006; BALBO, 2007).

O revestimento asfáltico é destinado a resistir diretamente aos esforços do tráfego atuante e transmiti-los às camadas inferiores da estrutura do pavimento de forma atenuada. O revestimento pode ser composto pela camada de rolamento, camada superficial que está em contato direto das cargas e ações do meio, e pelas camadas intermediárias ou de ligação (*binder*) que garantem a impermeabilização da camada de base (BERNUCCI *et al.*, 2010).

2.2 Rupturas do Pavimento

De acordo com Franco (2007) a ruptura do pavimento asfáltico deve ser considerada no dimensionamento de um projeto a fim de garantir que a superfície de rolamento possua boas condições durante um período determinado de projeto. Há dois principais tipos de ruptura de pavimentos asfálticos: ruptura estrutural e ruptura funcional.

A ruptura estrutural é caracterizada pelo colapso da estrutura do pavimento, ou de um dos seus componentes, de modo que o pavimento fique incapaz de sustentar qualquer carga aplicada sobre sua superfície. A ruptura funcional é qualificada pelo desconforto do rolamento do veículo no pavimento, aumento dos defeitos oriundos de trincamentos e grandes deformações, redução da segurança das operações e ampliação do risco de aquaplanagem. A ruptura funcional pode vir ou não acompanhada de uma ruptura estrutural. Práticas inadequadas de construção, ausência de manutenção e erros de dimensionamento são alguns dos fatores adicionais que podem gerar a ruptura do pavimento (YODER e WITCZAK, 1975, apud FRANCO, 2007, p.8).

As rupturas no pavimento podem ser provocadas por uma série de fatores: excesso de carga aplicada sobre o pavimento; pressão excessiva dos pneus de veículos sobre a pista de rolamento; número elevado de repetições de carga; condições ambientais; e desgaste ou envelhecimento dos materiais que compõem o revestimento. Desta forma, o dimensionamento da estrutura do pavimento deve ser adequado de modo que o pavimento não sofra ruptura estrutural dentro do período determinado em projeto (FRANCO, 2007).

2.3 Métodos de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis

O dimensionamento de um pavimento se constitui na determinação das camadas, construídas sobre uma superfície final de terraplenagem, destinadas técnica e economicamente a resistir, transmitir e distribuir as pressões oriundas do tráfego. Neste dimensionamento são definidas as espessuras e os materiais de cada camada do pavimento. Esta estrutura deve ser capaz de suportar o tráfego sem apresentar consideráveis deformações ou desgastes, oferecendo ao usuário uma superfície de rolamento com boa condição, proporcionando conforto e segurança (CNT, 2017).

O processo de dimensionamento de um modo geral é simples, no entanto, a sua aplicação é complexa devido a dificuldade em estimar alguns fatores como: volume e magnitude do tráfego atuante; intervenção das ações climáticas; caracterização mecânica dos materiais das camadas estruturais do pavimento; comportamento mecânico dos

materiais ao longo da vida útil de projeto; execução de projeto e gestão de manutenção da rodovia; e método de dimensionamento adequado às condições do país (FONTES, 2009).

Há atualmente diversos métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis pelo mundo, que podem ir de métodos simples a muito complexos. Os métodos mais conhecidos mundialmente são (BRITO e GRAEFF, 2009; PEREIRA e PAIS, 2017):

- Método australiano – utiliza como guia de projetos o *Austrroads Pavement Design Guide* (APDG) publicado no ano de 1992 e revisado em 2004, nessa metodologia analisa a estrutura do pavimento termos mecânicos (tensão e deformação) e o seu desempenho é previsto através de modelos embasados empiricamente.
- Método inglês – a *Highways Agency* estabelece os métodos de projeto por meio do *Design Manual for Roads and Bridges*, a metodologia é empírica e o principal critério para o dimensionamento é a partir do módulo resiliente do subleito. No entanto, estudos avançam e torna-se uma tendência no Reino Unido a utilizar métodos de dimensionamento empírico-mecanicista, como o método desenvolvido por Powell *et al.* (1984), e adaptado por Merrill Nunn em 2004.
- Método *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* (MEPDG) – desenvolvido pela AASHTO em 2004 e atualizado em 2019, a metodologia para pavimentos novos e reabilitados analisa a estrutura como um sistema de múltiplas camadas e permite prever danos como deformação permanente, trincamento por fadiga e trincamento térmico.

Cada metodologia possui uma singularidade que envolve diferentes variáveis e critérios de dimensionamento, a forma de ruptura do pavimento sob as variações das condições climáticas traz ainda mais diversidade aos métodos, tornando este um processo complexo de difícil previsão e modelagem (FRANCO, 2007).

Os métodos empíricos, fundamento dos primeiros métodos de dimensionamento, adotaram procedimentos baseados na experiência em campo, por meio da observação do desempenho do pavimento ao longo da vida de projeto. Uma evolução desta metodologia foi se deu pelo desenvolvimento dos métodos empírico-mecanicistas que permitem a análise de tensões e deformações através de modelos de cálculo baseados na teoria da elasticidade, admitindo o comportamento das camadas do pavimento como não linear ou linear (FONTES, 2009).

2.3.1 Métodos Empíricos

A abordagem empírica teve início durante a Segunda Guerra Mundial e se estabeleceu como o principal método de dimensionamento de pavimentos por cerca de três décadas. Os métodos de dimensionamento com base no Índice de Suporte Califórnia (ISC), foram os primeiros métodos de dimensionamento amplamente utilizados em todo o mundo. O primeiro método, conhecido como Método do CBR, foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE) que surgiu a partir do aprimoramento do antigo método desenvolvido pela Divisão de Estradas do Estado da Califórnia. Esta metodologia utilizava o valor do CBR do subleito para dimensionar a espessura das camadas do pavimento e foi a base principal para a concepção do atual método de dimensionamento do DNIT (COUTINHO, 2011).

O principal objetivo dos métodos empíricos consiste na determinação das espessuras das camadas do pavimento a serem construídas sobre o subleito de modo a permitir a circulação do tráfego sem aparição de rupturas precoces antes do final da sua vida útil de projeto (PEREIRA e PAIS, 2017).

O emprego dos métodos empíricos foi amplamente difundido pela facilidade de uso e por requererem dados de ensaios de caracterização mais simples, como, ensaios de classificação do solo e ensaio do Índice de Suporte Califórnia (CBR). No entanto, este método encontra-se defasado em relação ao uso de novos materiais, diferentes tipos de veículo e composição do tráfego, condições climáticas distintas, dentre outras variáveis. Este fato pode acarretar em uma menor durabilidade do pavimento quando submetido às atuais condições de tráfego, além de gerar um alto custo por não contemplar o uso de materiais e tecnologias mais eficientes (CNT, 2017).

A metodologia empírica, proveniente da observação da evolução das condições do pavimento numa experiência acumulada, trata o pavimento como uma estrutura única, não contemplando teorias acerca do comportamento elástico de cada camada do pavimento (NETO, 2014).

O dimensionamento de pavimentos embasado empiricamente apresenta limitações, pois os seus resultados são válidos apenas para condições iguais ou muito similares àquelas que prevaleceram durante a sua concepção e desenvolvimento. O método de dimensionamento do DNIT, por exemplo, foi revisado na década de 80 do século passado realidade que não se adequa à atual realidade, pois a evolução da tecnologia impactou no volume de tráfego, cargas e materiais utilizados na pavimentação (PELISSON *et al.*, 2015 e MOTA *et al.*, 2018)

2.3.2 Métodos Empírico-mecanicistas

A primeira Conferência Internacional de Dimensionamento Estrutural de Pavimentos Asfálticos (Michigan, 1962) é considerada como o marco para aplicação do princípio empírico-mecanicista no projeto de pavimentos. Nas décadas seguintes evolução no dimensionamento de pavimentos flexíveis, passando de uma abordagem empírica para a empírico-mecanicista que se é conhecida (HAAS, 2007).

Os métodos empírico-mecanicistas surgiram a partir da necessidade de analisar as tensões, deformações e deslocamento do pavimento que era banalizado na metodologia empírica. Desta forma, o uso de ensaios de caracterização concomitantemente às análises de tensões e deformações do sistema de camadas da estrutura do pavimento se tornou uma necessidade no aperfeiçoamento dos métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis (MOTTA, 1991).

Esta metodologia possui um embasamento mecânico para prever as respostas do pavimento quando submetido a ações de tráfego e clima, além disso, busca-se compatibilizar as tensões atuantes no pavimento com a resistência dos materiais utilizados na estrutura. Os conceitos mecanísticos que são empregados no dimensionamento tem o objetivo de melhorar o desempenho de cada material empregado evitando que as solicitações sejam concentradas em uma das camadas ao ponto de levar a estrutura à ruptura. (MATTOS, 2014).

Os métodos empírico-mecanicistas trazem muitos benefícios no dimensionamento, pois permitem prever os danos que podem ocorrer no pavimento ao longo de sua vida de projeto. O seu uso ainda traz uma maior confiabilidade nos projetos de pavimentação, melhoram escolha e utilização dos materiais de acordo com as suas características e previsão de falhas provocadas na estrutura (MATTOS, 2014; PEREIRA e PAIS, 2017).

Outra vantagem do uso dos métodos empírico-mecanicistas é que podem ser completados por análises que considerem a ruptura por fadiga das camadas betuminosas a partir do uso de modelos mecanísticos de cálculo com a previsão de desempenho (FONTES, 2009). O DNIT (2006) em seu Manual de Pavimentação recomenda o uso complementar dos métodos empírico-mecanicistas no dimensionamento para prever a ruptura por fadiga das camadas asfálticas.

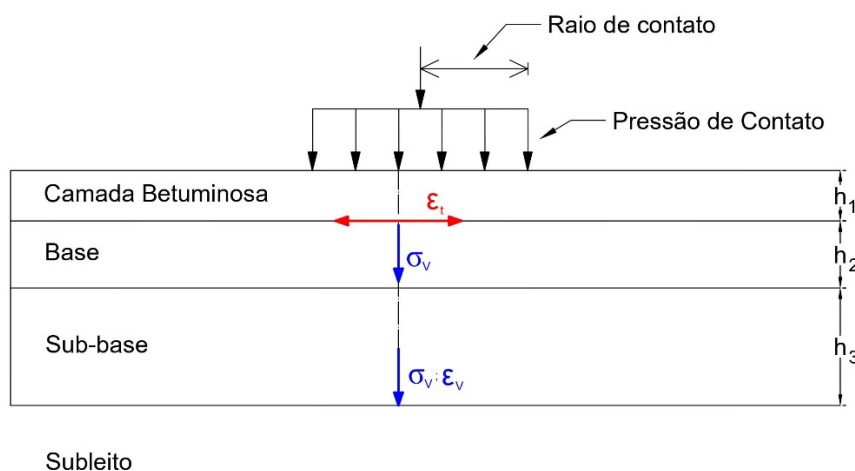
O dimensionamento de um pavimento por meio do método empírico-mecanicista pode ser definido em cinco passos básicos: i) agrupamento de dados da região de estudo; ii) correlação entre o tráfego e os dados de resistência dos materiais; iii) escolha da espessura das camadas e cálculo das tensões e deformações; iv) relação dos valores críticos

de tensões e deformações com os danos obtidos pela repetição de carga; v) verificação das espessuras escolhidas e sua validação com as condições impostas no dimensionamento (FRANCO, 2007).

O objetivo principal do dimensionamento embasado nesta metodologia é obter uma estrutura viável, em termos econômicos, com um nível satisfatório de serventia durante o período estabelecido em projeto. O pavimento é considerado como um sistema de múltiplas camadas e são obtidas respostas (tensões e deformações) em função das cargas aplicadas, por meio destas respostas é possível estimar o desempenho do pavimento por meio de funções de transferência (MATOS, 2014).

Os principais parâmetros avaliados na análise empírico-mecanicista, representados na Figura 3, são: i) deformação de tração (ϵ_t) na fibra inferior da camada asfáltica, para controle do trincamento por fadiga; (ii) estado de tensão no topo da camada de base, importante nas estruturas que possuem revestimentos delgados para se controlar a ruptura por cisalhamento; (iii) tensão (σ_v) ou deformação vertical (ϵ_v) no topo do solo de fundação (subleito) para controle da deformação permanente (FONTES, 2009).

Figura 3. Parâmetros avaliados na análise empírico-mecanicista



Fonte: Adaptado de FONTES, 2009.

A metodologia empírico-mecanicista traz diversos desafios em termos de investimento em ensaios laboratoriais, coletas de dados em campo e pesquisas experimentais, exigindo uma crítica análise de custo-benefício entre os custos de pesquisa e a qualidade do projeto que será gerado. (PEREIRA e PAIS, 2017).

Nos métodos empírico-mecanicistas o dimensionamento é realizado com o auxílio de *software*, pois permite a calibração e validação com dados de campo (HAAS *et al.*, 2007).

Cada vez mais se torna necessário o uso da modelagem empírico-mecanicista em busca da melhoria de projetos de pavimentação. Em termos de eficiência estrutural, esta metodologia permite o uso de materiais cujo desempenho de campo não é conhecido pela falta de experiência. Além disto, considera os efeitos das condições de tráfego e clima no dimensionamento, variáveis não analisadas nos métodos empíricos utilizados no Brasil (FRANCO, 2007).

2.4 Método de Dimensionamento do DNIT

O método de dimensionamento, inicialmente adotado pelo extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), foi proposto pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza em 1966 e foi aprovado pelo órgão neste mesmo ano. Este método possui como base o trabalho *Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume* e possui conclusões obtidas na Pista Experimental da AASHTO (DNIT, 2006).

Bezerra Neto (2014) afirma que este método está dividido em três fundamentos principais, sendo eles: definição dos materiais, determinação do tráfego e dimensionamento do pavimento, onde são definidos a espessura do pavimento, e o tipo e espessura do revestimento.

Para que o pavimento não sofra uma ruptura precoce, Souza (1981) estabelece que a capacidade de suporte do subleito e dos materiais granulares, que constituem o pavimento, deve ser obtida por meio do ensaio CBR. Este ensaio é realizado em corpos-de-prova indeformados ou moldados em laboratório nas condições previstas em campo.

2.5 DNER-PRO 269/94 - Método da resiliência (TECNAPAV)

O Método da Resiliência denominado de Tecnologia Nacional para Restauração de Pavimentos (TECNAPAV) foi elaborado por Salomão Pinto e Ernesto Preussler na década de 1980. O método baseia-se em ensaios laboratoriais e estudos de campo desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias/Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (IPR/DNER) e Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) (NÓBREGA, 2003).

O TECNAPAV segue a norma DNER-PRO 269/94 e é utilizado no projeto de restauração de rodovias, no entanto, também pode ser utilizado no dimensionamento de pavimentos flexíveis.

Este método empírico-mecanicista é embasado nos modelos de fadiga de misturas asfálticas, no comportamento resiliente de materiais granulares e solos finos, e comportamento elástico não linear no cálculo da tensão e deformação das camadas. Foi

desenvolvido a partir da necessidade de um método que calculasse a deflexão máxima admissível de uma estrutura durante uma determinada expectativa de vida de fadiga. O dimensionamento da estrutura do pavimento é em função do tipo de subleito e do tráfego previsto (BRITO e GRAEFF, 2019).

O método da resiliência prevê a avaliação objetiva da superfície do pavimento, medida das deflexões recuperáveis, ensaios de caracterização, e o dimensionamento é realizado principalmente em função da deflexão das camadas do pavimento (MATTOS, 2014).

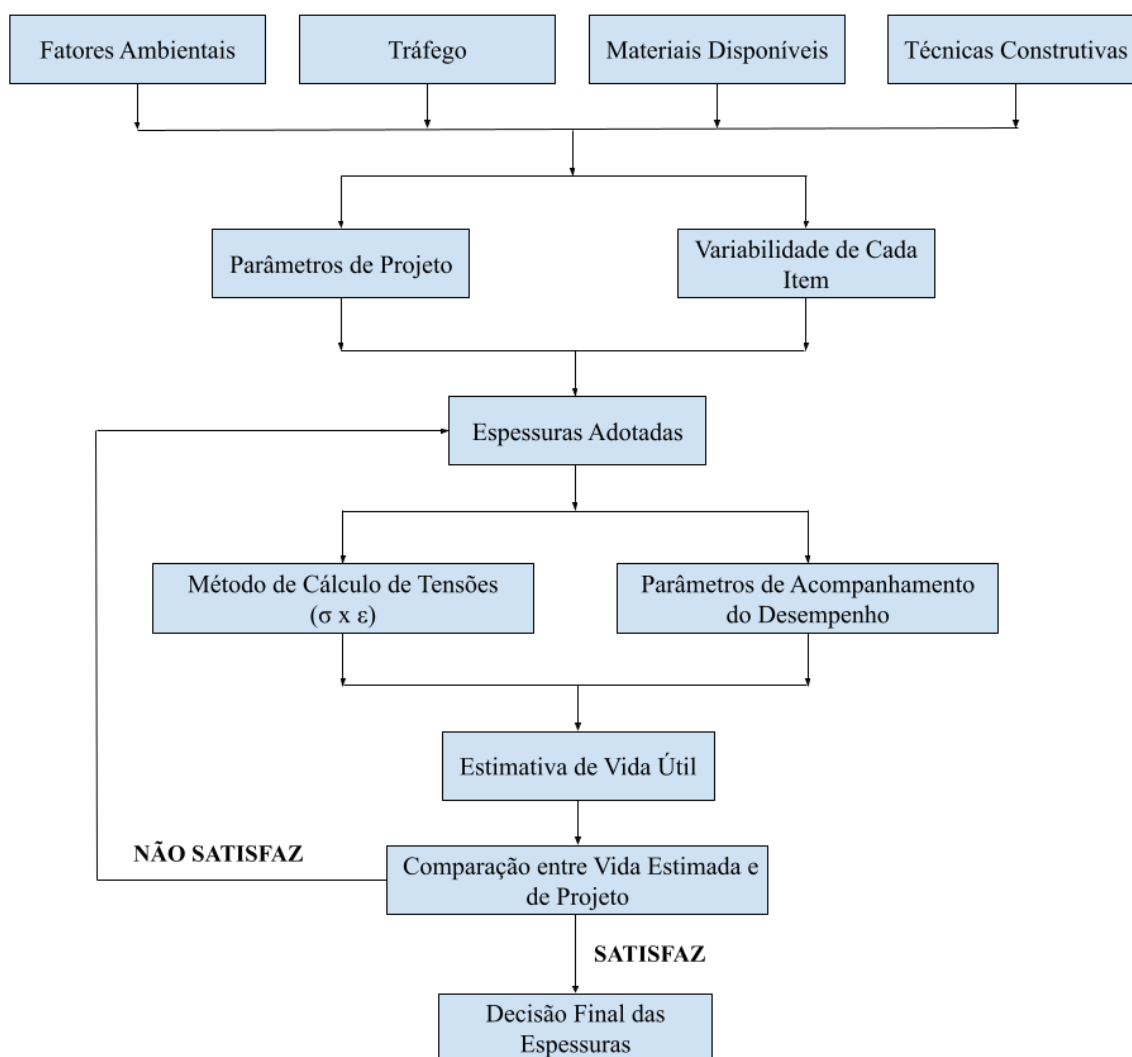
2.6 Método de Motta (1991)

Motta apresentou, em 1991, uma proposição de método empírico-mecanicista de dimensionamento de pavimentos flexíveis, consolidando os estudos de Mecânica dos Pavimentos desenvolvidos na Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) desde 1977 (MOTTA, 1991). Esta foi uma das primeiras propostas do uso de métodos empírico-mecanicistas para pavimentos novos utilizado no Brasil.

Neste método, é definida uma estrutura inicial do pavimento, a variabilidade dos dados, os parâmetros e o nível de confiabilidade do projeto. Em seguida, é feita uma análise mecanicista da estrutura do pavimento com o auxílio do *software* FEPAVE2 (*Finite Element Analysis of Pavement*) que considera um modelo elástico linear para o revestimento asfáltico e não linear para as demais camadas do pavimento. Nesta análise são verificadas se as tensões e deformações obtidas são aceitáveis com base nos critérios estabelecidos. Caso a estrutura não atenda a algum critério, define-se uma nova estrutura (modificando materiais e/ou espessuras) e o cálculo é refeito (MATTOS, 2014). A Figura 4 ilustra os passos definidos por Motta para se estabelecer um dimensionamento por meio do método de projeto mecanicista.

O método proposto por Motta (1991) permite estimar os seguintes critérios: i) deflexão máxima admitida na superfície do pavimento; ii) tensões no revestimento; iii) tensão e deformação de tração na fibra inferior do revestimento; iv) tensão vertical no topo do subleito (BRITO e GRAEFF; 2009).

Figura 4. Esquema de proposta de método de dimensionamento proposto por MOTTA



Fonte: Adaptado de MOTTA (1991)

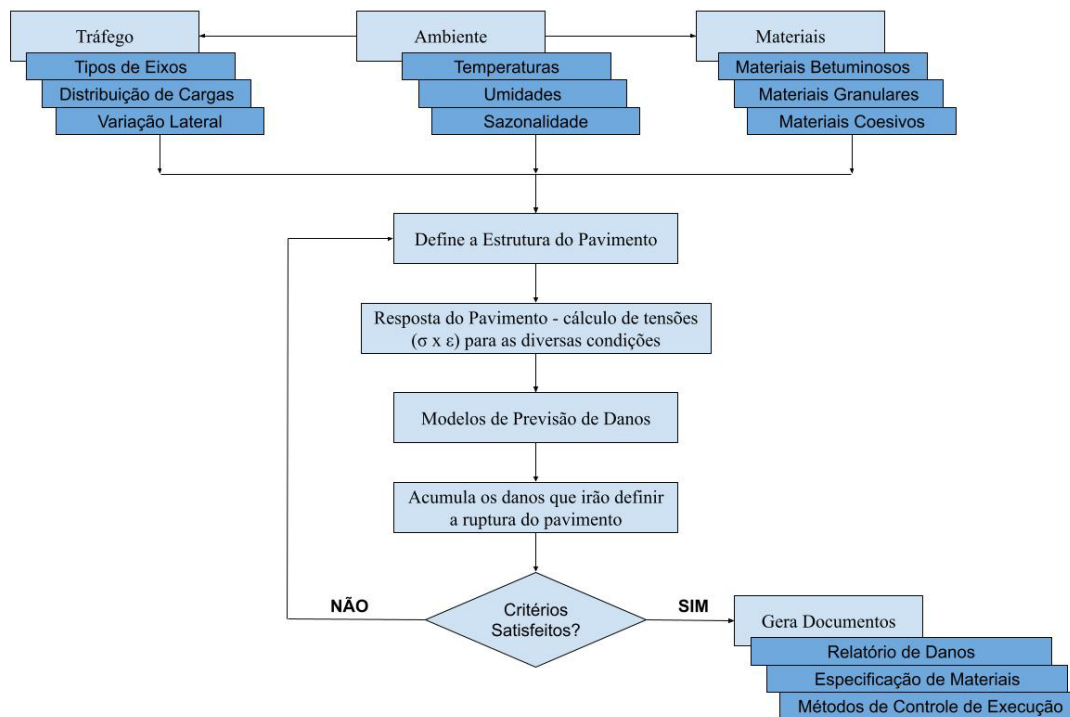
2.7 Método SisPav

No método, proposto por Franco no ano de 2007, em sua tese de doutorado, foi desenvolvido o programa computacional SisPav que por meio da sub-rotina de Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC) permite o cálculo das tensões e deformações no pavimento por meio da teoria da elasticidade (COUTINHO, 2011).

O objetivo principal do trabalho foi o desenvolvimento de um dimensionamento empírico-mecanicista para pavimentos asfálticos, com base em informações detalhadas de tráfego, condições ambientais e das características dos materiais disponíveis. A análise é realizada por meio do *software* SisPav onde é possível dimensionar as espessuras das camadas que compõe a estrutura do pavimento (FRANCO, 2007). Para isto, são levados em consideração informações baseadas em análises de dados coletados em campos de

pesquisas e em laboratório (MATTOS, 2014). O fluxograma da metodologia de dimensionamento desenvolvido por Franco (2007), que resultou no *software* SisPav, é apresentado na Figura 5.

Figura 5. Fluxograma de dimensionamento desenvolvido por FRANCO



Fonte: Adaptado de FRANCO (2007).

Para a caracterização das misturas asfálticas são necessários os seguintes dados de entrada: i) módulo de resiliência; ii) coeficiente de Poisson; iii) granulometria da mistura; iv) viscosidade do ligante; v) índices volumétricos. Já para os materiais granulares, solos (siltosos, argilosos, lateríticos e finos) e lateritas pedregulhosas é necessário informar o módulo de resiliência, coeficiente de Poisson e se a análise feita seguirá o modelo elástico linear ou não linear. O programa considera, além das propriedades dos materiais, a influência da temperatura e do tráfego (PINTO, 2016).

Os parâmetros de desempenho analisados neste método de dimensionamento são: tensão vertical máxima no topo do subleito; deflexão máxima e deformação permanente no tipo do revestimento; tensão ou deformação de tração máxima admissível no revestimento (COUTINHO, 2011).

Em 2013, através de estudos realizados na Rede de Tecnologia em Asfaltos da Petrobrás, o programa desenvolvido por Franco foi atualizado passando a ser nomeado

como SisPavBR. Esta nova versão permitiu análises mais sofisticadas por ser calibrado e validado com dados de materiais e desempenho de materiais (MACHADO *et al.*, 2020).

As principais modificações em relação à versão anterior são: i) dimensionamento pode ser realizado por três diferentes níveis de detalhamento; ii) introdução de abas com novos materiais constituintes das camadas, com a possibilidade de verificação de fadiga até a quarta camada; iii) inclusão do eixo padrão como um dos eixos predefinidos; iv) critério de aderência é aplicado apenas as camadas asfálticas; v) modificação dos modelos de previsão de deformação permanente para os materiais de solos e britas (FERREIRA, 2013).

2.8 MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional

A partir de 2015, por meio de um Termo de Execução Descentralizada (TED) entre o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE/UFRJ), houve uma atualização do *software* SisPavBR, denominado agora de Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) em homenagem ao professor Jean Jacques de Medina (FRANCO e MOTTA, 2020).

O MeDiNa é um programa computacional de dimensionamento de pavimentos flexíveis, novos e reabilitados, que realiza a análise das tensões no pavimento por meio de correlações e da rotina de análise elástica de múltiplas camadas (AEMC). Após a definição das espessuras das camadas e escolha dos melhores materiais constituintes da estrutura são calculadas, com o auxílio do *software*, as tensões e deformações sofridas no pavimento. Os danos causados pela repetição das cargas são relacionados com os valores críticos destas solicitações, por último é realizada uma verificação das espessuras adotadas com os critérios estabelecidos no dimensionamento (CHIARELLO, 2019).

Diferente do SisPavBR, os critérios de deformação máxima no topo do subleito e deflexão máxima admissível no topo do revestimento não são considerados, e os critérios de deformação permanente e fadiga foram reconfigurados (MACHADO *et al.*, 2020).

O cálculo de tensões, deformações e deslocamentos (deformações específicas – adimensionais), realizado pelo *software* do MeDiNa, utiliza uma modelagem física que permite calcular o movimento horizontal relativo na interface entre duas camadas sendo possível estabelecer o critério de aderência entre as camadas da estrutura do pavimento (FRANCO e MOTTA, 2020).

O dimensionamento pelo método MeDiNa permite avaliar a estrutura, realizando cálculos e verificação de área trincado e/ou deformação permanente sem alteração das espessuras, ou dimensionar a estrutura, onde o programa irá analisar a estrutura de modo

que o critério de fadiga seja atendido. Neste último há a alteração da espessura das camadas do pavimento.

Para que os resultados do programa MeDiNa sejam confiáveis para análise o dimensionamento de um pavimento, um conjunto amplo de informações deve ser utilizado. Estas informações passam por um conhecimento do subleito, onde o módulo e a curva de deformação permanente devem ser obtidos por meio de ensaios laboratoriais. Além do subleito, os materiais utilizados nas estruturas do pavimento, provenientes de jazidas, pedreiras ou areais devem possuir propriedades de módulo e deformação permanente conhecidos por meio de ensaios laboratoriais. Os materiais produzidos em usinas ou centrais devem ser definidos pelo projetista. Para o funcionamento correto do *software*, o número equivalente de eixos (N) deve ser bem definido, pois os modelos utilizados no programa MeDiNa são sensíveis a pequenas variações deste número (FRANCO e MOTTA, 2020).

Os dados de entrada necessários para a caracterização das misturas asfálticas são: i) espessura; ii) coeficiente de Poisson; iii) módulo de resiliência (considerado como elástico linear); iv) granulometria da mistura; v) viscosidade do ligante; vi) teor de asfalto; vii) volume de vazios; viii) abrasão Los Angeles; ix) curva de fadiga. Para as demais camadas, os dados necessários são: i) espessura; ii) coeficiente de Poisson; iii) características dos materiais; iv) módulo resiliente e deformação permanente; v) indicar se a análise do módulo de resiliência seguirá o modelo elástico linear ou não linear.

O módulo de resiliência das camadas asfálticas deve ser obtido através de ensaios por compressão direta e ele é considerado como elástico linear. Os parâmetros de análise são: critério de fadiga na camada asfáltica; deformação permanente total das camadas granulares, resultado da soma da deformação permanente de cada camada; e deformação permanente no subleito. No MeDiNa não são avaliados os danos por fadiga e tensão limite no topo do subleito (FRANCO e MOTTA, 2020).

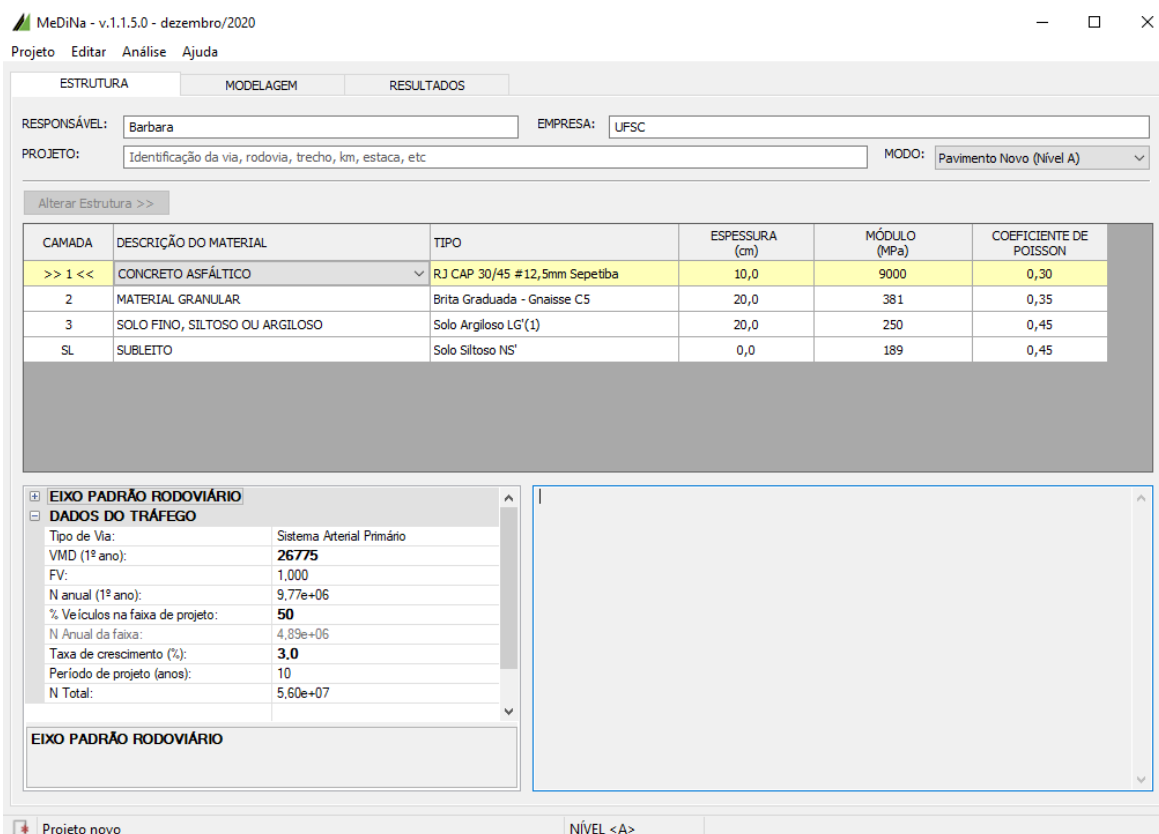
A *interface* do *software* MeDiNa é dividida em três abas: Estrutura, Modelagem e Resultados. A tela inicial ao abrir o programa é a de Estrutura, que permite inserir as informações de projeto que são resumidas em quatro elementos: identificação do projeto; dados da estrutura do pavimento; dados sobre as informações do tráfego; e painel onde o programa MeDiNa registra o resumo dos resultados das análises ou dos dimensionamentos. Após o preenchimento dos dados, deve-se selecionar o modo que o programa irá tratar os dados, sendo:

- Pavimento Novo (Nível 1): Modo para elaboração de projetos de pavimentos novos no nível de projeto 1, no qual as propriedades das camadas são obtidas por ensaios laboratoriais.
- Projeto de Reforço: Modo para elaboração de projeto de reforço, no qual as propriedades das camadas existentes são obtidas através de retroanálise de bacias deflectométricas.

A tela inicial do programa apresenta uma estrutura padrão, apenas para servir de exemplo, que podem ser totalmente alteradas, sendo que para esta estrutura são permitidos, no mínimo três e, no máximo, oito camadas.

A Figura 6 ilustra a página inicial do programa MeDiNa com exemplo de introdução de camadas hipotéticas do pavimento.

Figura 6. Tela inicial do software MeDiNa



2.8.1 Hipóteses de cálculo consideradas no MeDiNa

Assim como muitos programas computacionais de análise linear em sistemas de múltiplas camadas e sistemas contínuos, o MeDiNa leva em consideração uma série de hipóteses que são fundamentais em sua solução computacional, sendo:

1. Os materiais são elásticos lineares, isotrópicos e homogêneos;

2. A lei de Hooke é válida e o módulo de compressão é semelhante ao módulo de tração;
3. As camadas são ilimitadas na direção horizontal;
4. Todas as camadas possuem uma espessura finita, com exceção da camada inferior que é considerada semi-infinita;
5. A superfície da camada superior não está sujeita a tensões fora da área carregada;
6. Na área carregada ocorrem apenas tensões normais;
7. A carga aplicada é considerada estática, uniformemente distribuída em toda a área circular de contato;
8. Em grandes profundidades as tensões e deformações são nulas;
9. As condições de aderência na interface das camadas podem variar de totalmente aderida para lisa ou sem aderência.

O manual de utilização do MeDiNa apresenta ainda as unidades das grandezas físicas que devem ser utilizadas no programa para o seu ideal funcionamento, Tabela 1.

Tabela 1. Grandezas e unidades do programa MeDiNa

Grandeza	Unidade
Espessura e distâncias	cm
Raio do carregamento	cm
Deslocamentos	μm
Deflexões (Viga Benkelman ou FWD)	0,01 mm
Deformações específicas	m/m
Área de contato	cm^2
Pressão de inflação e tensões	MPa
Carga de eixo ou de roda	ton
Massa específica aparente seca	g/cm^3

Fonte: FRANCO e MOTTA (2020).

2.8.2 Calibração e validação

O principal critério de avaliação para definir a vida útil do pavimento pelo *software* MeDiNa é o critério de fadiga. Em sua análise, o programa relaciona o critério de fadiga em termos de área trincada. A calibração dos danos por fadiga foi realizada com base na tese de Fritzen (2016), na qual foi desenvolvida uma Função de Transferência que correlaciona o comportamento das misturas asfálticas quando submetidas a ensaios mecânicos de módulo de resiliência e de fadiga com o seu desempenho campo permitindo, assim, a previsão do dano por fadiga nos pavimentos asfálticos (FRITZEN, 2016). Esta função foi atualizada para o programa, utilizando uma análise elástica linear, onde a evolução da área trincada é representada por uma curva sigmoidal.

O reajuste da calibração proposta por FRITZEN (2016) teve como propósito identificar e definir a melhor curva Sigmoideal que demonstrasse o comportamento da evolução da área trincada dos segmentos monitorados em sua tese. Em todas as sessões avaliadas que apresentaram uma leitura de área trincada foram multiplicados fatores de deslocamentos aos valores de Número N, gerando um Número N ajustado. A expressão do Número N ajustado (N') é apresentada na Equação 1.

$$N' = (N \times fS) \times 10^{-10} \quad (1)$$

Onde:

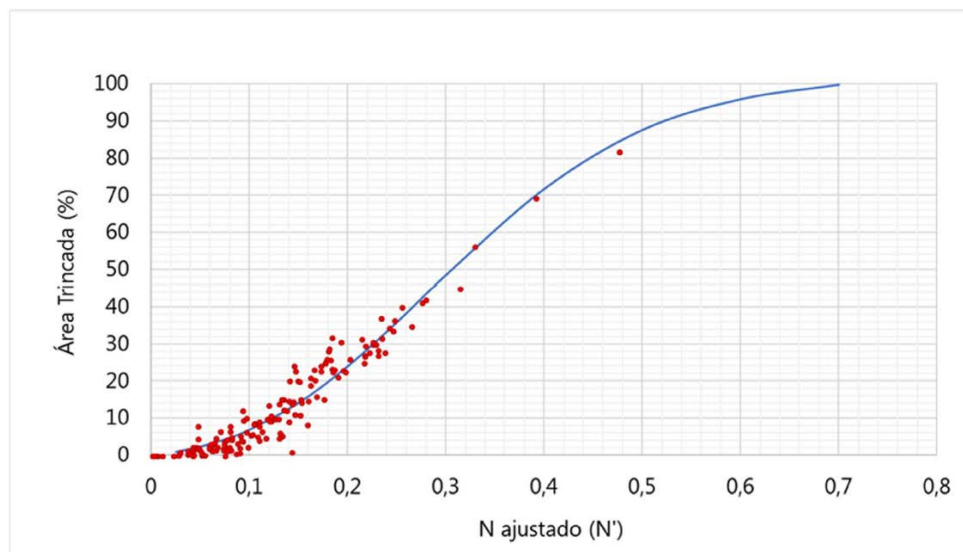
N' : número N ajustado;

N: número de operações do eixo padrão quando foi medida a área trincada;

fS : fator de deslocamento atribuído.

Após a aplicação dos fatores de deslocamento, as sessões estudadas se ajustaram à curva sigmoide, mostrada na Figura 7.

Figura 7. Curva Sigmoide



Fonte: FRANCO e MOTTA (2020).

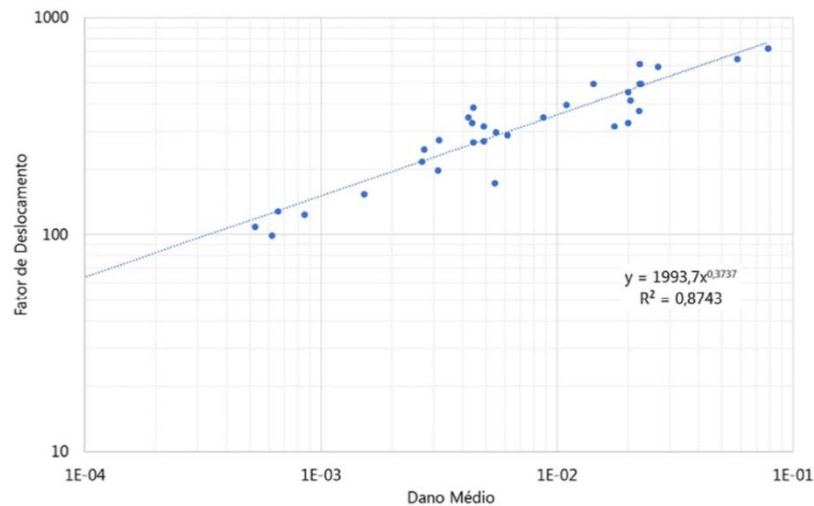
Posteriormente atualizou-se a Função de Transferência ante à necessidade de correlacionar os danos de área trincada com alguma informação estrutural do pavimento. A Função de Transferência, obtida pela Equação 2, transforma o dano médio em área trincada prevista e pode ser visualizada na Figura 8.

$$fS = C1 \times (D_{\text{médio}})^{C2} \quad (2)$$

Onde:

fS : fator de deslocamento;
 C1: constante igual a 1993,7;
 C2: constante igual a 0,3737;
 $D_{\text{médio}}$: dano médio

Figura 8. Função de transferência proposta para previsão de área trincada



Fonte: FRANCO e MOTTA (2020).

2.8.3 Critério de fadiga

Para o cálculo da Fadiga, nas misturas asfálticas, o *software* MeDiNa utiliza estado de tensões calculado em vinte pontos, sendo dez pontos localizados na superfície, espaçados em 3,65 cm, e outros dez na fibra inferior da última camada asfáltica da estrutura do pavimento. Desta forma, a fadiga é a média do dano calculado em cada ponto e por meio dela calcula-se a área trincada com base na função transferência.

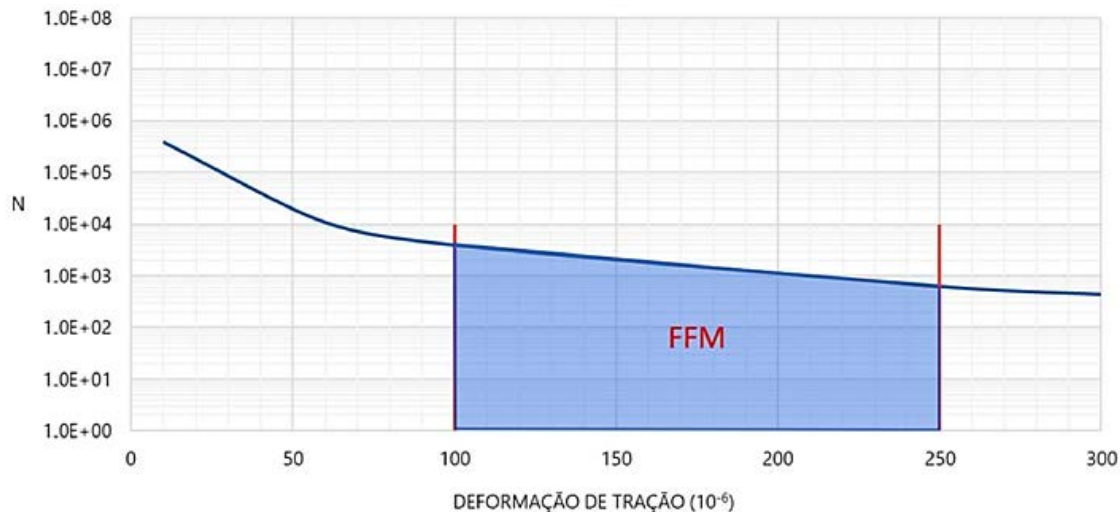
O programa permite apenas a inserção dos coeficientes de regressão da curva de fadiga (k_1 e k_2) oriundos da relação entre o número de ciclos (N_{fad}) e a deformação específica resiliente de tração (ε_t), Equação 3. Os parâmetros k_1 e k_2 estão relacionados com a qualidade dos materiais asfálticos.

$$N_{fad} = k_1 x \varepsilon_t^{k_2} \quad (3)$$

O *software* classifica as misturas em uma das quatro Classes de Fadiga quando as propriedades do material asfáltico são inseridas. Estas classes estão relacionadas com o Fator de Fadiga da Mistura (FFM) e Módulo de Resiliência, parâmetros que definem a

performance do pavimento. O FFM, estabelecido como a área da curva de fadiga da mistura entre as deformações de tração de 100μ e de 250μ , é calculado pelo programa de forma automática e sua identificação é dada por meio da Figura 9.

Figura 9. Gráfico de definição fator de fadiga na mistura adotado pelo MeDiNa



Fonte: FRANCO e MOTTA (2020).

A Classe de Fadiga das Misturas Asfálticas também é um parâmetro automaticamente estabelecido pelo *software*. A classificação adotada foi obtida por meio de simulações que possibilitou obter os valores de tráfego suportados pela estrutura até que a mesma atingisse uma área trincada igual a 30%, com 85% de confiabilidade. As classes são apresentadas na Tabela 2, ou graficamente pela Figura 10.

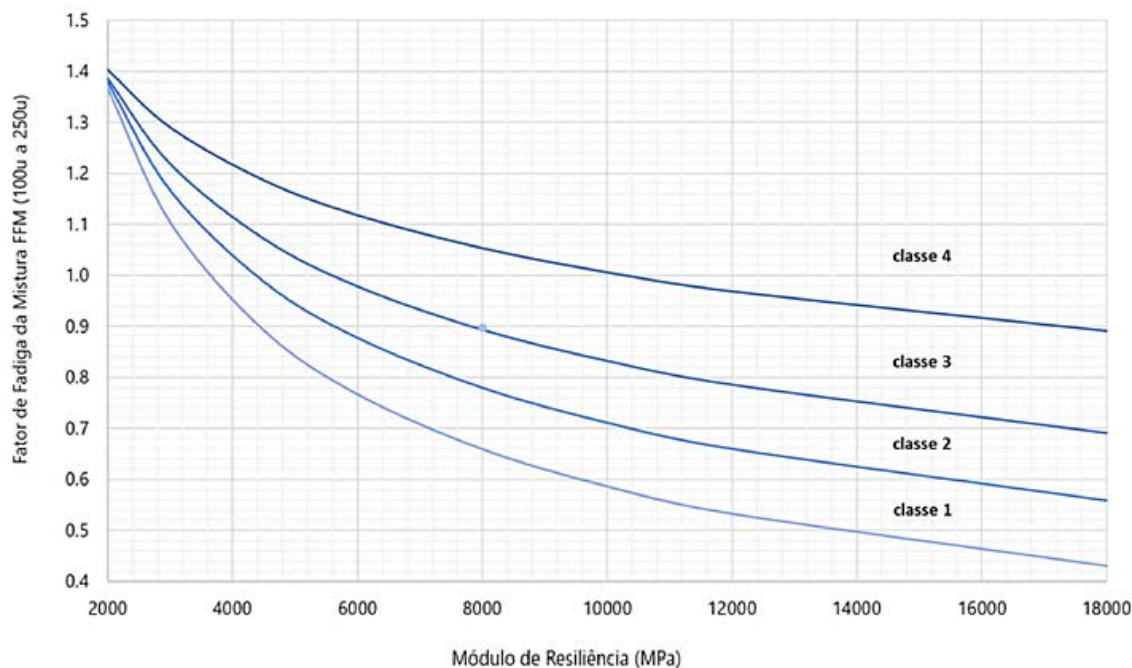
Tabela 2. Classes de Misturas Asfálticas

Classe	Repetições de eixo padrão (RP)
1	$4,5 \times 10^6 \leq RP < 6,0 \times 10^6$
2	$6,0 \times 10^6 \leq RP < 7,5 \times 10^6$
3	$7,5 \times 10^6 \leq RP < 1,0 \times 10^7$
4	$RP \geq 1,0 \times 10^7$

Fonte: FRANCO e MOTTA (2020)

Os materiais granulares, solos finos, siltosos e argilosos e os subleitos não são avaliados no programa MeDiNa quanto ao dano por fadiga nem quanto à tensão no topo do subleito.

Figura 10. Classes de Misturas Asfálticas



Fonte: FRANCO e MOTTA (2020).

2.8.4 Critério de aderência

No dimensionamento do projeto de um pavimento flexível não é possível que o projetista insira valores numéricos para o critério de aderência entre as camadas. Este critério é estabelecido pelo software em duas condições: Aderido ou Não aderido, com cisalhamento nulo na *interface*. As condições deste parâmetro são pré-estabelecidas conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Critérios para estabelecer a aderência entre as camadas

Camada	Condição
Camadas asfáltica sobre outra camada asfáltica	Aderido
Camada asfáltica sobre camada cimentada	Não Aderido
Camada asfáltica sobre camada antirreflexão de trincas	Aderido
Camada asfáltica sobre camadas de solos ou granulares	Não Aderido
Tratamento superficial sobre camadas asfálticas	Aderido
Tratamento superficial sobre camadas de solos ou granulares	Não Aderido
Camada estabilizada sobre outra camada estabilizada	Não Aderido
Camada estabilizada sobre camadas de solos ou granulares	Não Aderido
Camada antirreflexão de trincas sobre camadas estabilizadas	Não Aderido
Camada de solos ou granulares sobre camadas asfálticas, cimentadas, de solos ou granulares	Não Aderido

Fonte: FRANCO e MOTTA (2020).

2.8.5 Critério de parada

FRANCO e MOTTA (2020) ressalta a importância em se informar o tipo de via a ser dimensionada ou analisada. Cada tipo de via define um critério de parada e graus de confiabilidade das análises do *software*. Os tipos de vias do *software* MeDiNa foram definidos em conformidade com a hierarquia dos sistemas funcionais publicada pelo DNIT. A Tabela 4 resume os critérios e associa uma confiabilidade a cada tipo de via.

Tabela 4. Critérios de parada e confiabilidade do software MeDiNa

Tipo de via	Confiabilidade	Área Trincada	Def. Permanente
Sistema Arterial Principal	95%	30%	10 mm
Sistema Arterial Primário	85%	30%	13 mm
Sistema Arterial Secundário	75%	30%	20 mm
Sistema Coletor Primário	85%	30%	13 mm
Sistema Coletor Secundário	75%	30%	20 mm
Sistema Local	65%	30%	20 mm

Fonte: FRANCO e MOTTA (2020).

2.8.6 Deformação permanente

No programa MeDiNa a deformação permanente da camada asfáltica é desconsiderada no cálculo do afundamento de trilha de roda, no entanto, para que esta condição seja válida a mistura deve respeitar o critério de *Flow Number*. Este critério pode ser obtido por meio do utilizado como um controle de qualidade da camada asfáltica a fim de que a mistura apresente um bom desempenho quando submetida ao tráfego. Ao final do dimensionamento o *software* apresenta o valor do *Flow Number* mínimo que deverá ser exigido durante a implantação da rodovia. Os limites das classes de desempenho quanto à deformação permanente para as misturas asfálticas estão mostrados na Tabela 5.

Tabela 5. Limite das classes de desempenho

Classe	Flow Number (FN)	N recomendado Condições Normais	N recomendado Condições Severas
1	$FN \geq 100$ ciclos	$N < 1 \times 10^6$	Não recomendado
2	$100 \text{ ciclos} \leq FN < 300$ ciclos	$1 \times 10^6 \leq N < 1 \times 10^7$	$N < 1 \times 10^6$
3	$300 \text{ ciclos} \leq FN < 750$ ciclos	$1 \times 10^7 \leq N < 1 \times 10^8$	$1 \times 10^6 \leq N < 1 \times 10^7$
4	$750 \text{ ciclos} \leq FN < 2000$ ciclos	$N \geq 1 \times 10^8$	$1 \times 10^7 \leq N < 1 \times 10^8$
5	$FN \geq 2000$ ciclos	-	$N \geq 1 \times 10^8$

Fonte: FRANCO e MOTTA (2020).

A deformação permanente nas camadas estabilizadas é nula, pois considera-se que estas camadas não contribuem de forma efetiva para a trilha de roda total do pavimento.

Nas camadas compostas por materiais granulares, solos finos, siltsos e argilosos a deformação permanente é calculada utilizando o estado de tensões calculado em quatro pontos entre as camadas: dois entre as rodas e dois sob as rodas.

O programa MeDiNa utiliza no cálculo da deformação permanente o estado de tensões calculado nos pontos entre as rodas e sob as rodas, ambos a 25cm de profundidade do topo do subleito.

A deformação permanente total da estrutura do pavimento é resultante do somatório das deformações permanentes de cada camada.

2.8.7 Ensaios Laboratoriais

Para um bom projeto e validação do dimensionamento pelo MeDiNa deve-se ter conhecimento de todos os materiais que constituem a estrutura do pavimento flexível. É importante salientar que os dados de entrada do MeDiNa, prioritariamente devem ser provenientes de dados de ensaios em laboratório. Apesar do programa fornecer dados *default*, o conhecimento dos materiais utilizados no dimensionamento fornece uma avaliação fidedigna ao dimensionamento.

Nos tópicos subsequentes serão apresentadas as informações exigidas pelo *software*, para cada camada, e os ensaios necessários para sua obtenção.

Revestimento asfáltico

Para a camada de concreto asfáltico são necessárias as seguintes informações: i) coeficiente de Poisson, obtido por meio da norma DNIT – ME 135 (DNIT-ME, 2018_A); ii) módulo resiliente, determinado pela norma DNIT – ME 135 (DNIT-ME, 2018_A); iii) massa específica, estabelecido pela ABNT NBR 6296 (ABNT, 2012_A); iv) resistência à tração, obtida por meio da ABNT NBR 15087 (ABNT, 2012_B); v) teor de asfalto pela ABNT NBR 14855 (ABNT, 2015) ou ASTM D 2042 (2009) para misturas modificadas; vi) volume de vazios através da ASTM D 3203 (1994); vii) faixa granulométrica pela norma ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003); abrasão Los Angeles do agregado mineral usado na mistura ASTM C 131 (2006); curva de fadiga, obtida através do ensaio à compressão diametral, por meio da norma DNIT – ME 183 (DNIT-ME, 2018_B).

A norma DNIT-ME 184 (DNIT-ME, 2018_C) descreve os procedimentos de ensaio para a estimativa da resistência à deformação permanente das misturas asfálticas, usando o *Flow Number* (FN) como parâmetro.

Materiais granulares

Os materiais granulares que serão empregados nas camadas de base, sub-base e reforço de subleito também devem ser caracterizados e ter suas propriedades plásticas e bem definidas. Os dados de entrada no *software* MeDiNa para estes materiais são: i) coeficiente de Poisson; ii) módulo resiliente, obtido pelo ensaio triaxial com diferentes estados de tensões, norma DNIT – ME 134 (DNIT-ME, 2018_D); iii) massa específica, umidade ótima e energia de compactação obtidos através da norma ABNT NBR 7182 (ABNT, 2020); iv) abrasão Los Angeles, definida pela ASTM C 131 (2006); v) deformação permanente determinada pela norma DNIT – IE 179 (DNIT-IE, 2018).

Solos finos, siltosos ou argilosos

Quando a camada é composta por solos (siltosos, argilosos ou finos) são necessárias as seguintes informações: i) coeficiente de Poisson; ii) módulo resiliente, obtido através da norma DNIT – ME 134 (DNIT-ME, 2018_D); iii) classificação do material por meio da norma DNER – CLA 259 (DNER-CLA, 1996); iv) massa específica, umidade ótima e energia de compactação são obtidos pela norma ABNT NBR 7182 (ABNT, 2020); v) deformação permanente determinada pela norma DNIT – IE 179 (DNIT-IE, 2018).

Subleito

Para esta camada são necessárias informações sobre: i) coeficiente de Poisson ABNT NBR 12770 (ABNT, 1992) ou ASTM D 7181 (2020); ii) módulo resiliente, obtido pela norma DNIT – ME 134 (DNIT-ME, 2018_D); iii) classificação do material através do DNER – CLA 259 (DNER-CLA, 1996); iv) massa específica, umidade ótima e energia de compactação obtidos por meio da ABNT NBR 7182 (ABNT, 2020); v) deformação permanente determinada pela norma DNIT – IE 179 (DNIT-IE, 2018).

2.8.8 Comparação entre o método do DNIT e métodos empírico-mecanicistas

Diversos autores traçaram comparativos entre o método de dimensionamento empírico do DNER (1981) e o método empírico-mecanicista MeDiNa, conforme segue.

O estudo proposto por Chiarello *et al.* (2019) teve o objetivo de avaliar uma estrutura projetada pela metodologia do DNER (1981), verificar seu comportamento quanto à deformação permanente e propor duas novas estruturas dimensionadas pelo

método empírico-mecanicista MeDiNa. Também foi apresentada uma projeção do orçamento para as três estruturas propostas, de modo a avaliar os custos associados a cada método.

O estudo de caso considerou a duplicação da BR – 287, trecho de Santa Cruz do Sul à Tabaí/RS, com um número de solicitações de carga (N) de $6,85 \times 10^7$ para dimensionamento. Limitou-se a deformação permanente - afundamento de trilha de roda (ATR) - a 10 mm e o rompimento do pavimento por fadiga com área trincada maior que 30%.

Os parâmetros do subleito argiloso laterítico (Tabela 6) e dos materiais constituintes das camadas do pavimento foram fixados, de modo a comparar a influência da espessura e/ou adição de novas camadas em uma estrutura tipo. Para a obtenção dos parâmetros de deformação permanente e capacidade resiliente do material (Tabela 7) foram realizados ensaios triaxiais de cargas repetidas, normatizados pela REDE 03 (PETROBRÁS, 2010) e DNIT 134 (DNIT, 2018). O material constituinte da base foi “Brita graduada - C5” e da sub-base foi a “Brita graduada - C6” por possuir características semelhantes ao macadame seco, ambos retirados da base de dados do MeDiNa

Tabela 6. Parâmetros do subleito

Subleito de solo argiloso	
Umidade ótima - Energia normal	19,6%
Densidade máxima - Energia normal	1,676 kg/m ³
Índice de Suporte Califórnia - ISC	11,0%

Fonte: CHIARELLO *et al.*, (2019).

Tabela 7. Parâmetros de resiliência e deformação permanente

Subleito de solo argiloso	
MR - coef. de regressão k_1	215,02
MR - coef. de regressão k_2	0,230
MR - coef. de regressão k_3	-0,290
DP - coef. de regressão y_1	0,869
DP - coef. de regressão y_2	0,006
DP - coef. de regressão y_3	1,212
DP - coef. de regressão y_4	0,042

Fonte: CHIARELLO *et al.*, (2019).

Os materiais do revestimento utilizados foram o concreto asfáltico 50/70, intitulado como Classe 1, e o revestimento modificado chamado de Classe 4. As propriedades destes materiais são apresentadas na Tabela 8.

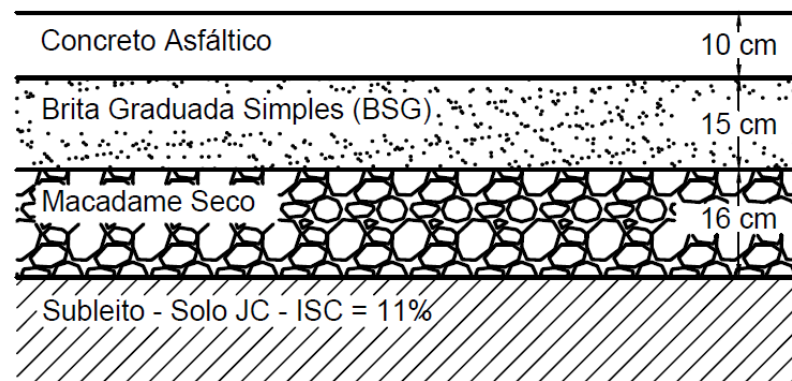
Tabela 8. Parâmetros dos revestimentos asfálticos

Parâmetros	Classe 1	Classe 4
Coefficiente de Poisson	0,30	0,30
Contato	Aderido	Aderido
Massa Específica (g/cm ³)	2,40	2,40
Módulo de Resiliência (MPa)	5764	10492
Fadiga – coef. de regressão k_1	5,49E-11	1,91E-5
Fadiga – coef. de regressão k_2	-3,25	-1,90

Fonte: CHIARELLO *et al.*, (2019).

Assim, a estrutura dimensionada do pavimento flexível pelo método empírico do DNER (1981) correspondente à Estrutura 01 (Figura 11). é composta por uma camada de material granular com espessura de 16,0 cm, seguido de uma camada brita graduada de 15,0 cm de espessura e revestimento asfáltico convencional de 10,0 cm.

Figura 11. Estrutura 01 dimensionada segundo o DNER (1981)



Fonte: Adaptado de CHIARELLO *et al.*, (2019).

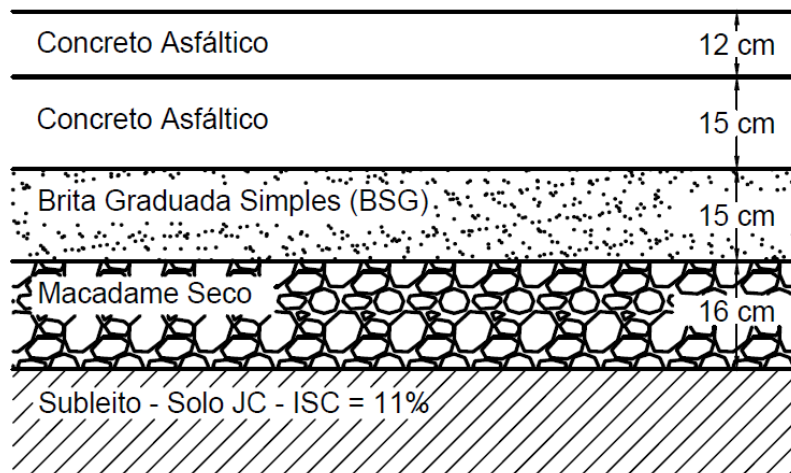
Para avaliar o comportamento quanto à fadiga e deformação permanente da Estrutura 01 foi considerado o uso de parâmetros e características de materiais inclusos na base de dados do MeDiNa.

Com base no resultado do desempenho, nota-se que a Estrutura 01 não atendeu os critérios de fadiga e deformação permanente estabelecidos, sendo a estrutura ineficiente para as solicitações de tráfego. Chiarello *et al.*, (2019) informam que para satisfazer este dano, deve-se melhorar as camadas granulares e reforçar o subleito da estrutura. A implantação desta estrutura demandaria um investimento de R\$1.583.748,74 por quilômetro, considerando as espessuras constituintes e valores do Sistema de Custos Rodoviários (SICRO) do DNIT, de outubro de 2018.

A Estrutura 02 foi dimensionada pelo método empírico-mecanicista MeDiNa, sendo composta por duas camadas de concreto asfáltico 50/70, uma camada de brita

graduada simples, seguida de uma camada de macadame seco, sua composição é apresentada na Figura 12. A estrutura analisada alcançou os critérios de desempenho, chegando ao fim do período de projeto área trincada de 29,7% e ATR de 4,3 mm.

Figura 12. Estrutura 02 dimensionada segundo o MeDiNa (2019)

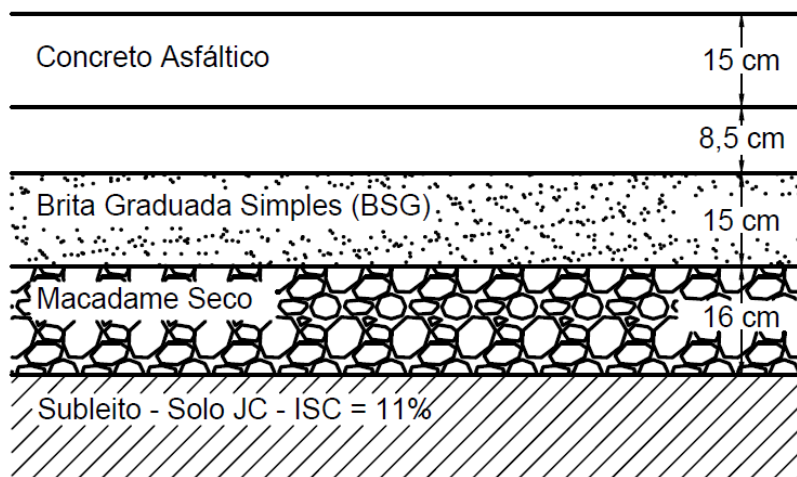


Fonte: Adaptado de CHIARELLO *et al.*, (2019).

A Estrutura 02 resultou em um orçamento de R\$ 3.023.363,97/km. O aumento em relação à Estrutura 01 se justifica pela inclusão de pinturas de ligação devido as duas camadas de revestimento. Em contrapartida, tem-se o aumento da qualidade da estrutura do pavimento.

A fim de diminuir a espessura do revestimento asfáltico e para comparar o orçamento, os autores dimensionaram ainda uma Estrutura 03, Figura 13, de uma camada de macadame seco de 16,0 cm de espessura, 15,0 cm de brita graduada simples, e duas camadas de concreto asfáltico modificado “Classe 4” com 8,5 cm a primeira camada e 15,0 cm a segunda.

Figura 13. Estrutura 03 dimensionada segundo o MeDiNa (2019)



Fonte: Adaptado de CHIARELLO *et al.*, (2019).

Semelhante a Estrutura 02, a Estrutura 03 apresentou um desempenho satisfatório em relação à deformação permanente e fadiga. Esta estrutura teria um custo total de R\$ 3.093.808,25. Como conclusões, Chiarello *et al.* afirmaram que, o dimensionamento feito por meio do método do DNER (1981) provocará a ruptura antes do período de projeto considerado, diferente das outras estruturas dimensionadas pelo MeDiNa. A diferença de desempenho se justifica, principalmente, pelo novo método de dimensionamento não considerar apenas a capacidade de suporte do subleito, mas por considerar as características e propriedades dos materiais da estrutura.

Por fim os autores ressaltaram que o aumento da espessura da camada de revestimento, revestimento de alta qualidade, ou mesmo camadas granulares de maior espessura, tonam a estrutura mais cara. O valor global da estrutura dimensionada pelo MeDiNa aparenta ser elevado, no entanto, ao analisar as solicitações e a qualidade e bom desempenho da estrutura, o valor se torna aceitável.

O trabalho de Vendrusculo *et al.* (2018) teve por objetivo dimensionar e comparar quatro estruturas de pavimentos flexíveis, duas dimensionadas pela metodologia do DNER (1981) e outras duas dimensionadas pelo método empírico-mecanicista MeDiNa, utilizando a versão teste do *software* (v1. 0.0) de abril de 2018.

As amostras de solos analisadas foram coletadas no município de Santa Maria/RS, ambas pertencentes ao grupo dos solos argilosos de comportamento lateríticos (LG') pela classificação Miniatura Compactada Tropical (MCT). A capacidade resiliente dos materiais, Tabela 9, foi obtida por meio do ensaio triaxial de cargas repetidas, normatizado pelo DNIT 134/10. Os parâmetros de deformação permanente foram obtidos através de ensaios triaxiais de cargas repetidas e com regressão não linear, Tabela 10.

Tabela 9. Parâmetros do módulo de resiliência não lineares dos solos

Coefficiente de regressão	Solo 1	Solo 2
k_1	624,31	484,39
k_2	0,644	0,488
k_3	- 0,202	0,065

Fonte: VENDRUSCULO *et al.*, (2018).

Tabela 10. . Parâmetros de deformação permanente dos solos em estudo (MPa)

Coefficiente de regressão	Solo 1	Solo 2
y_1	0,385	0,869
y_2	-0,861	0,006
y_3	1,523	1,212
y_4	0,075	0,042

Fonte: VENDRUSCULO *et al.*, (2018).

O revestimento asfáltico que compõe as estruturas tem como parâmetros os dados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Parâmetros do concreto asfáltico

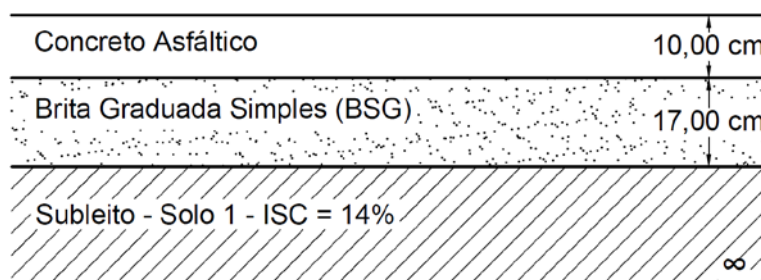
Revestimento asfáltico – CA	
Coefficiente de Poisson	0,30
Contato	Não aderido
Teor de Asfalto (%)	5,90
Volume de Vazios (%)	4,00
Abrasão Los Angeles	10,82
Massa Específica (g/cm ³)	2,21
Módulo de Resiliência (MPa)	4901,00
Fadiga – coef. de regressão k ₁	4,0E-05
Fadiga – coef. de regressão k ₂	-1,99

Fonte: VENDRUSCULO *et al.*, (2018).

Os autores consideraram o seguinte na análise: i) via considerada como um sistema arterial principal; ii) coeficiente de *Poisson* para o solo igual a 0,45; iii) número de solicitações de carga (N), obtido pela metodologia USACE, igual a $2,50 \times 10^7$; iv) período de projeto de 10 anos; v) nível de confiabilidade pelo MeDiNa de 95%.

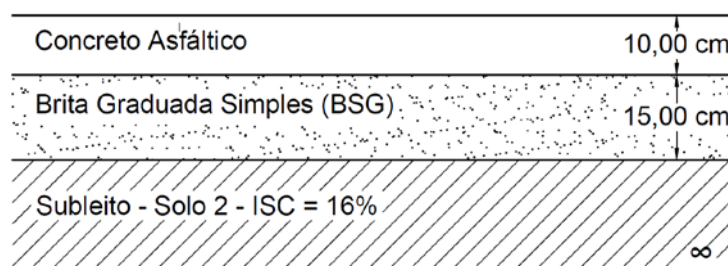
As estruturas E01 (Figura 14) e E02 (Figura 15) foram dimensionadas pelo método do DNER (1981) e consideraram, respectivamente, o Solo 1 e o Solo 2 na composição do subleito.

Figura 14. Estrutura E01 - Solo 1 – DNER (1981)



Fonte: Adaptado de VENDRUSCULO *et al.*, (2018).

Figura 15. Estrutura E02 - Solo 2 – DNER (1981)

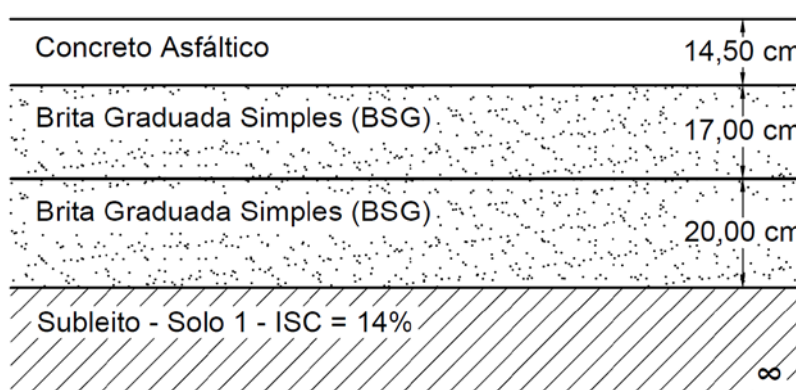


Fonte: Adaptado de VENDRUSCULO *et al.*, (2018).

A estrutura E01, quando inserida no *software* MeDiNa para avaliação do desempenho, apresentou uma deformação permanente total entre as rodas, igual a 10,40 mm e deformação permanente total sob as rodas de 9,40 mm. Além desses danos, a estrutura teve uma área trincada de 79% e deformação permanente do subleito acima de 5 mm. A estrutura E02 também não apresentou um comportamento satisfatório, com uma deformação permanente total de 4,80 mm entre rodas e 4,40 mm sob as rodas e área trincada de 89,80%.

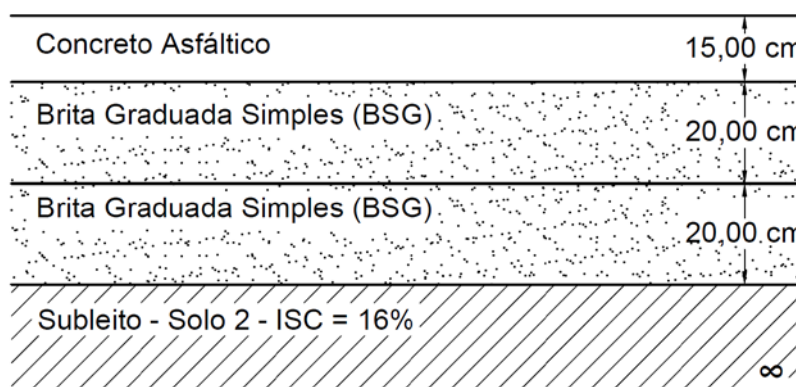
As estruturas E03 (Figura 16) e E04 (Figura 17) foram dimensionadas pelo método empírico-mecanicista MeDiNa, versão 2018.

Figura 16. Estrutura E03 - Solo 1 – MeDiNa (2018)



Fonte: Adaptado de VENDRUSCULO *et al.*, (2018).

Figura 17. Estrutura E04 - Solo 2 – MeDiNa (2018)



Fonte: Adaptado de VENDRUSCULO *et al.*, (2018).

Estimou-se que a área trincada para o pavimento, para a estrutura E03 proposta ao final do período de projeto seja de 29,70% e sua deformação permanente entre rodas seja igual 5,70 mm e 5,30 mm sob as rodas. Para a estrutura E04 previu-se que ao fim do período de projeto apresente 29,80% de área trincada, 3,40 mm de deformação permanente entre as rodas e 3,20 mm sob as rodas.

As estruturas dimensionadas pelo método do DNER (1981) não possuem camada de sub-base e apresentam elevadas tensões no topo do subleito, resultando em elevadas deformações devido a rigidez dos materiais. Estas estruturas sofrerão rupturas precoces devido ao trincamento por fadiga, acima do limite imposto para este tipo de via.

Diferente do método empírico, o dimensionamento pelo MeDiNa avalia as características e propriedades dos materiais constituintes da estrutura, não se limitando apenas à capacidade de suporte do subleito.

Vendrusculo *et al.*, (2018) concluíram que o atual método de dimensionamento vigente no Brasil não dimensiona estruturas de pavimento adequadamente aos danos por trincamento por fadiga, um dos principais danos de ruptura dos pavimentos flexíveis, e ressalta a importância em utilizar o módulo de resiliência e coeficientes da deformação permanente dos materiais no dimensionamento. Frente a isso, a metodologia MeDiNa satisfaz de maneira mais eficiente às necessidades dos usuários dos pavimentos.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados o método e os procedimentos usados no desenvolvimento do trabalho a fim de promover o objetivo principal desta pesquisa, que é analisar a implantação do método de dimensionamento de pavimentos MeDiNa no Brasil.

Foi realizada uma análise comparativa entre o dimensionamento de pavimentos flexíveis pelo método empírico do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), método da Resiliência (TECNAPAV) e o método empírico-mecanicista MeDiNa.

Para tanto, o comparativo foi realizado através do dimensionamento de estruturas de pavimento de rodovias em dois estudos de caso: BR-280/SC (km 50,74 ao km 74,58) e SC-281 (km 23,050 ao km 45,913).

Primeiramente, para cada estudo de caso, foi realizado o dimensionamento de um projeto novo de pavimentação pelo método DNER (1981), DNER-PRO 296/94 e método MeDiNa. Após o dimensionamento, as estruturas que seguiram a metodologia do DNER (1981) e DNER-PRO 269/94 foram analisadas no *software* MeDiNa, versão 1.1.5, para avaliação do seu desempenho quanto a área trincada e ao afundamento de trilha de roda na vida de projeto estipulada.

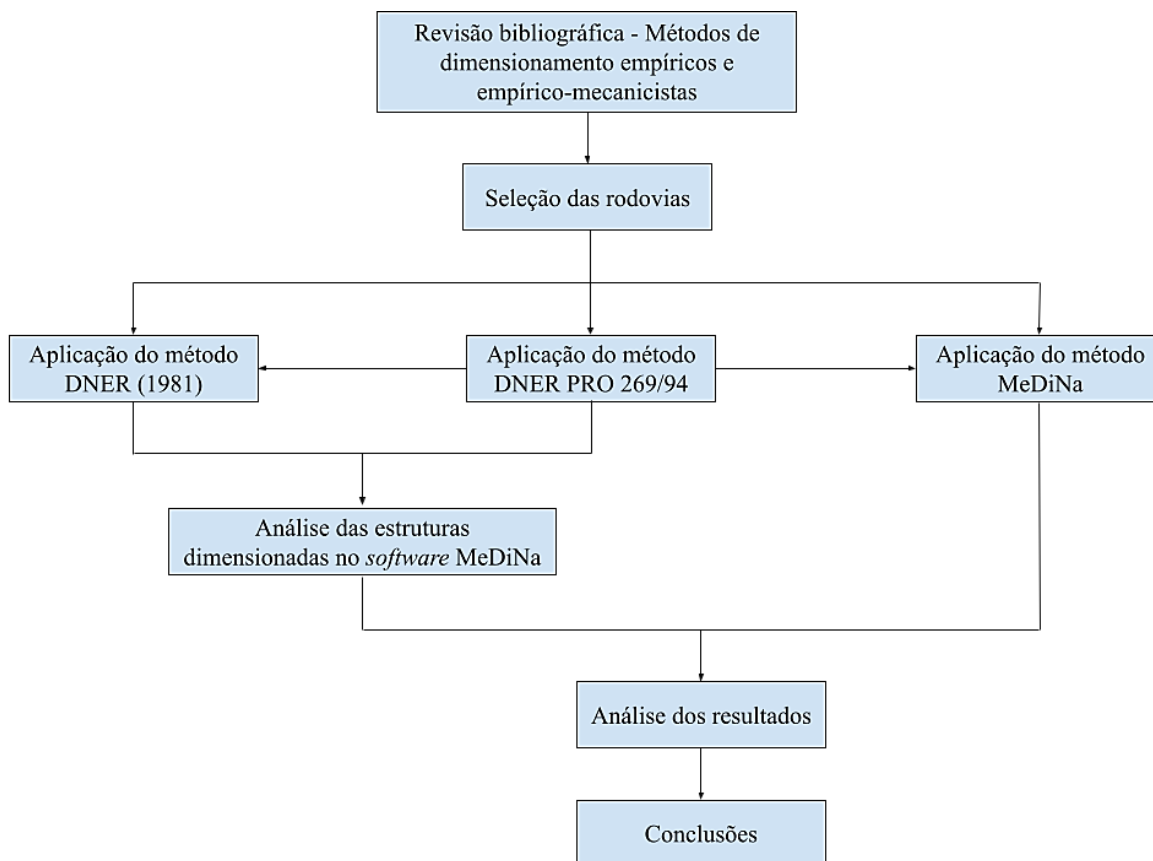
Para cada estrutura dimensionada foi realizada uma estimativa de orçamento baseado nas composições de custo do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) de outubro de 2020, elaborado pelo DNIT para o Estado de Santa Catarina.

Por fim foi feita uma análise crítica abrangendo o resultados dos dimensionamentos obtidos.

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos pela empresa Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia. A empresa realizou o dimensionamento do pavimento da rodovia SC-281 com base nos procedimentos do DNER (1981), já o dimensionamento da BR-280/SC foi baseado nas metodologias do DNER (1981) e DNER-PRO 269/94.

A Figura 18 ilustra o fluxograma da metodologia adotada e suas etapas são detalhadas nos tópicos seguintes (3.1, 3.2, 3.3 e 3.4).

Figura 18. Fluxograma da metodologia do trabalho



3.1 Projetos selecionados para o estudo de caso

Para análise foram selecionados projetos de pavimentação de duas rodovias brasileiras uma de tráfego meio pesado ($10^6 \geq N \leq 10^7$) e outra de tráfego muito pesado $N \geq 10^7$. Os dados foram obtidos e gentilmente cedidos pela empresa Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia, com sede em Florianópolis, SC.

3.1.1 Rodovia BR-280/SC – Lote 22

Um estudo de caso foi realizado no Lote 22 da BR-280/SC, Trecho: Porto São Francisco do Sul – Divisa SC/PR (Porto União – União da Vitória), compreendida entre a BR-101 e a cidade de Jaraguá do Sul localizada no estado de Santa Catarina. Trata-se de um projeto de implantação do contorno norte, em pista dupla, das cidades de Guaramirim e Jaraguá do Sul, entre os km 50,74 e km 74,58. O trecho possui uma extensão total de 23.840 m e envolve parte dos municípios de Jaraguá do Sul, Schroeder, Guaramirim, Joinville e Araquari, no litoral norte catarinense, como ilustrado na Figura 19.

Figura 19. Mapa de Situação BR 280/SC – Lote 22



Fonte: Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia (2012).

A classificação funcional da rodovia, em conformidade com o tipo de serviço e função que exerce, pelo Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (DNIT, 2010) é dada como Sistema Arterial Primário. A seção transversal da rodovia engloba uma pista dupla com duas faixas de rolamento por sentido com de 3,60 m de largura cada uma, acostamento externo com largura de 2,50 m e acostamento interno com 1,10 m de largura.

O ano de abertura da rodovia ao tráfego, após a conclusão dos melhoramentos previstos e dimensionados, foi 2017. O período de projeto considerado para o dimensionamento foi de 10 anos.

O estudo de tráfego realizado no segmento seguiu as diretrizes estipuladas pelo Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006). A configuração e o volume médio diário anual de tráfego (VMD) projetado para o primeiro ano de abertura do tráfego (2017) estão na Tabela 12, a projeção do VMD até o fim do período de projeto (2026) é apresentada no Anexo E. As configurações dos veículos apresentadas na Tabela 12 são os seguintes:

- M = moto
- P = veículo de passeio
- U = veículos utilitários
- 2CB = ônibus
- 2C = caminhão
- 3C = caminhão trucado
- 4C = caminhão simples
- 2S1 = caminhão trator + semirreboque (3 eixos)
- 2S2 = caminhão trator + semirreboque (4 eixos)
- 3S2 = caminhão trator trucado + semirreboque (5 eixos)
- 3S3 = caminhão trator trucado + semirreboque (6 eixos)
- 2C2 = caminhão + reboque (4 eixos)
- 2C3 = caminhão + reboque (5 eixos)
- 3C2 = caminhão trucado + reboque (5 eixos)
- 3C3 = caminhão trucado + reboque (6 eixos)
- 3D4 = bitrem articulado (caminhão trator trucado + dois semirreboques)

Foram realizados estudos geotécnicos do subleito a fim de avaliar sua condição de suporte. Para isto foram realizados 56 (cinquenta e seis) furos de sondagens à percussão para a determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC) dos segmentos homogêneos do trecho. Face aos resultados obtidos e posterior análise, optou-se que a camada final de terraplenagem consistiria em materiais importados de empréstimos com ISC = 6% e 50% de silte. O material de empréstimo se caracteriza como um material de 1ª categoria e possui índice de plasticidade nulo.

Tabela 12. Resumo do Volume Médio Diário Anual de Tráfego da rodovia BR-280/SC

Configuração de Veículo	VMD
M	1.929
P + U	15.912
2CB	519
2C	2.824
3C	2.702
2S1	166
4C	151
2S2	168
2S3	1.241
3S2	396
3S3	534
2C2	29
2C3	13
3C2	5
3C3	13
3D4	173
Total	26.775

Fonte: Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia (2012).

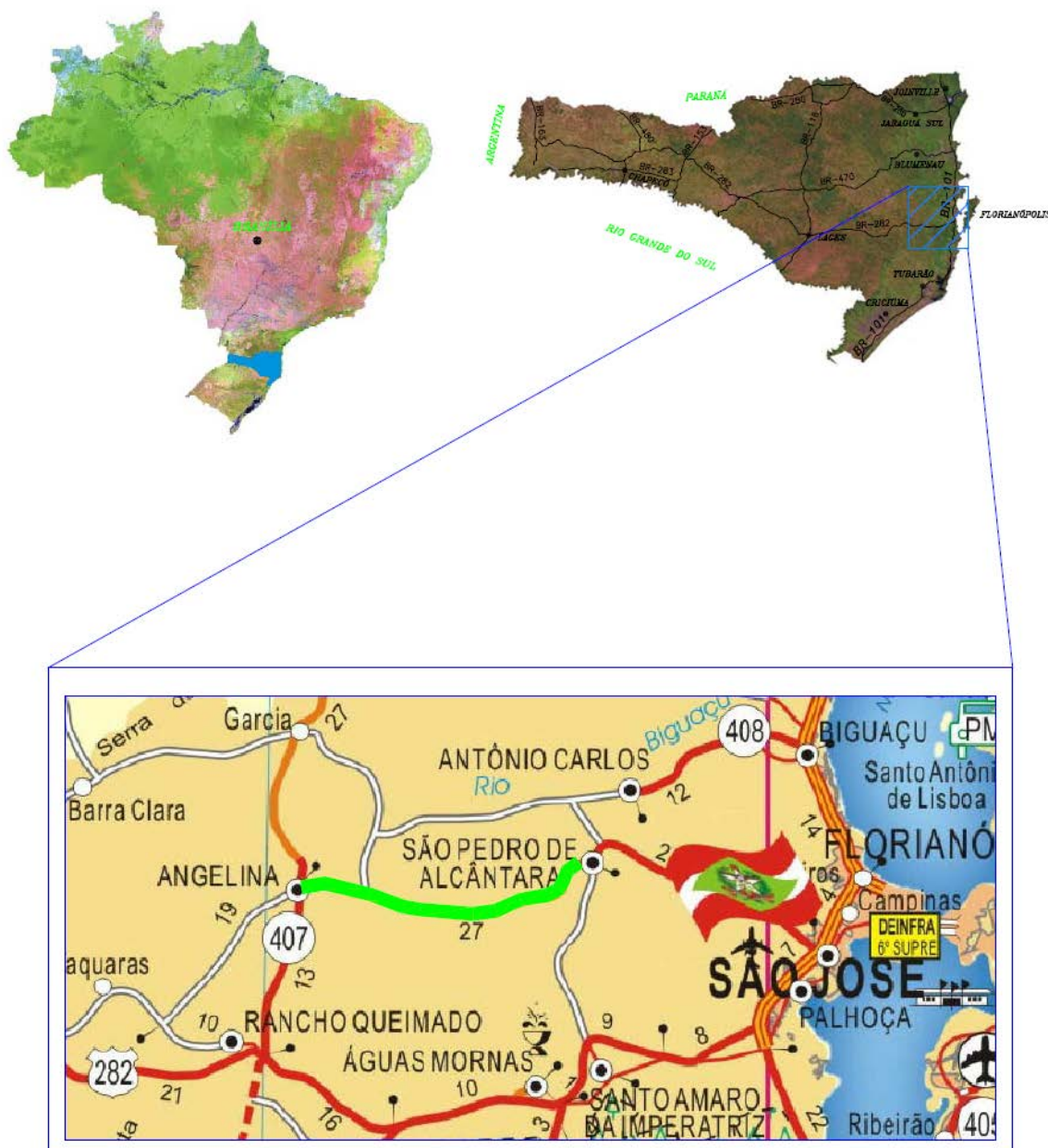
3.1.2 Rodovia SC-281 (km 23,050 ao km 45,913)

O segundo estudo compreende um trecho da rodovia SC-281, localizado entre os municípios de São Pedro de Alcântara e Angelina. O trecho possui uma extensão de 22.836 m, iniciando no km 23,050, situado após a travessia urbana de São Pedro de Alcântara, e finalizando no km 45,913 em Angelina, no entroncamento com a SC-108, ilustrado na Figura 20.

Conforme as Diretrizes para a Concepção de Estradas (DEINFRA, 2000) o trecho de 22,836 km a ser pavimentado se enquadra no Grupo de Categoria A e Função III - A III - Estrada de Interligação de Comunidades, tendo como características principais: i) seção transversal em pista simples; ii) interseções em nível único; iii) velocidades de projeto compreendidas entre 60 km/h e 80 km/h. Esta rodovia, pelo Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (DNIT, 2010) é classificada como um Sistema Arterial Principal. A seção transversal do pavimento engloba uma pista de rolamento simples, com duas faixas de rolamento de 3,25 m de largura e acostamentos pavimentados com largura de 1,50 m cada.

O ano determinado para implantação da rodovia e conclusão dos serviços foi 2021, e no dimensionamento se considerou um período de projeto de 10 anos.

Figura 20. Mapa de Situação SC-281



Fonte: Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia (2019)

O estudo de tráfego foi realizado de acordo com a Instrução de Estudo de Tráfego IS-02 (DER-SC, 1998) e o Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006). As configurações dos veículos e o volume médio diário anual de tráfego (VMD) projetado para o primeiro ano de projeto (2022) são mostrados na Tabela 13. A projeção do VMD até o fim do período de projeto (2031) está no Anexo F. As configurações dos veículos apresentadas na Tabela 13 são os seguintes:

- M = moto
- VP = veículo de passeio
- 2CB = ônibus

- 3CB = ônibus trucado
- 2C = caminhão
- 3C = caminhão trucado
- 2S2 = caminhão trator + semirreboque
- 2C3 = caminhão + reboque (5 eixos)
- 3C3 = caminhão + reboque (6 eixos)

Tabela 13. Resumo do Volume Médio Diário Anual de Tráfego da rodovia SC-281

Configuração de Veículo	VMD
M	223
VP	1.096
2CB	8
3CB	1
2C	64
3C	43
2S2	7
2C3	1
3C3	1
Total	1.445

Fonte: Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia (2019).

Para a definição do Índice de Suporte Califórnia (ISC) foram realizados 106 furos de sondagem a trado e coletadas amostras para a realização em laboratório dos ensaios de caracterização física e mecânica. As análises estatísticas obtiveram um CBR para o do trecho de 7,7%. No entanto, a camada final de terraplenagem será executada com material proveniente das escavações do trecho com ISC = 15%.

3.2 DNER (1981)

O dimensionamento do pavimento por meio do método do DNIT necessita inicialmente da determinação da capacidade de suporte do subleito, ou seja, o Índice de Suporte Califórnia (CBR), obtido em laboratório por meio da norma ABNT NBR 6562 (ABNT, 2017). Define-se o Índice de Suporte do subleito, obtido pelo valor médio entre o CBR do material e o CBR corrigido em função do Índice de Grupo (IG), seu cálculo utiliza a Equação 4. Na Tabela 14 são apresentados os valores da relação entre o Índice de Grupo e o CBR corrigido.

$$IS = \frac{CBR + CBR_{IG}}{2} \quad (4)$$

Onde:

IS: índice de suporte do subleito

CBR: valor do Índice de Suporte Califórnia do subleito

CBR_{IG}: valor do Índice de Suporte Califórnia obtido pelo Índice de Grupo

Tabela 14. Valores da relação entre o Índice de Grupo e o CBR corrigido

Índice de Grupo	CBR _{IG} (%)
0	20
1	18
2	15
3	13
4	12
5	10
6	9
7	8
8	7
9 a 10	6
11 a 12	5
13 a 14	4
15 a 17	3
18 a 20	2

Fonte: SOUZA (1981).

Os materiais que compõe a estrutura do pavimento devem seguir as características apresentadas na Tabela 15 e os materiais também devem ser enquadrados em faixas granulométricas, conforme a Tabela 16.

Tabela 15. Características dos materiais do pavimento

Camadas	Critério
Subleito	CBR ⁽¹⁾ ≥ 2%; Expansão menor que 2%.
Reforço do subleito	CBR ⁽¹⁾ maior que o do subleito; Expansão menor que 1%.
Sub-base	CBR ⁽¹⁾ ≥ 20%; Expansão menor que 1%; Índice de grupo (IG) igual a zero.
Base	CBR ⁽¹⁾ ≥ 80%; Expansão menor que 0,5%; LL ⁽²⁾ ≤ 25%; IP ⁽³⁾ ≤ 6%.

CBR⁽¹⁾ – Índice de Suporte Califórnia; LL⁽²⁾ – Limite de Liquidez; IP⁽³⁾ – Índice de Plasticidade.

Fonte: SOUZA (1981).

Tabela 16. Faixas granulométricas para materiais granulares

Peneiras (polegadas e nº)	Porcentagem passante (%)			
	A	B	C	D
2"	100	100	-	-
1"	-	75 - 90	100	100
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
nº 4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
nº 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
nº 40	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
nº 200	2 - 8	5 - 15	5 - 15	5 - 20

OBS: A fração passante na peneira nº 200 deve ser inferior a 2/3 da fração passante na peneira nº 40. A fração graúda deve apresentar um desgaste Los Angeles igual ou inferior a 50%. Pode-se utilizar um valor de desgaste maior para materiais com experiência de uso.

Fonte: SOUZA (1981).

Considera-se, para aplicação deste método, que há uma drenagem superficial adequada e que o lençol freático esteja rebaixado a, no mínimo, 1,5 m em relação ao greide de regularização. A espessura máxima de compactação das camadas granulares é de 20 cm e a espessura construtiva mínima das camadas com este material é de 15 cm (SOUZA, 1981).

O dimensionamento do pavimento se dá em função do número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão durante o período de projeto (SOUZA, 1981). O cálculo desta repetição de passagens se dá por meio da Equação 5:

$$N = 365 \times F_p \times F_R \times \sum(VMD_i \times FV_i) \quad (5)$$

Onde:

N: número de operações do eixo padrão;

F_p: fator de pista;

F_R: fator climático regional.

VMD_i: volume médio diário de veículos da categoria i;

FV_i: fator de equivalência de eixo para a categoria i;

Para efeito de projeto o tráfego considerado é o da faixa mais solicitada. O Fator de Pista (F_p) pode ser obtido por meio da Tabela 17.

Tabela 17. Valores de porcentagem de veículos para o número de faixas solicitadas

Número de faixas de tráfego (2 sentidos)	Porcentagem de veículos comerciais na faixa de projeto (%)
2	50
4	35 a 48
6 ou mais	25 a 48

Fonte: SOUZA (1981).

O Fator climático regional (F_R) estabelecido na metodologia é igual a 1,0. Já o Fator de Equivalência de Eixo (FV_i) pode ser obtido por meio dos ábacos, dispostos no Anexo A, ou por meio das equações apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18. Fatores de equivalência de carga da USACE

Tipos de eixo	Faixas de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC^{(1)} = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{(2) 4,0175}$
	≥ 8	$FC^{(1)} = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{(2) 6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC^{(1)} = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{(2) 3,472}$
	≥ 11	$FC^{(1)} = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{(2) 5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC^{(1)} = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{(2) 3,3549}$
	≥ 18	$FC^{(1)} = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{(2) 5,5789}$

$FC^{(1)}$ – Fator de equivalência de carga por eixo; $P^{(2)}$ – Carga por eixo em tonelada.

Fonte: DNIT (2006_A).

A carga por eixo em tonelada é obtida através do peso máximo admitido por eixo ou conjunto de eixos, representado esquematicamente no Anexo B. Cada tipo de veículo possui uma carga que varia conforme a sua classificação que é de acordo com a distribuição dos eixos dos veículos. Alguns exemplos de veículos e suas respectivas classificações são apresentados no Anexo C.

Obtido o tráfego, define-se a espessura do revestimento mínima do revestimento (R) em função do número de repetições de carga que será aplicado sobre o pavimento (N), conforme a Tabela 19.

Tabela 19. Espessura mínima de revestimento

N	Espessura mínima de revestimento betuminoso
$\leq 10^6$	Tratamento Superficial
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimento betuminoso com 5 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 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: SOUZA, 1981.

O cálculo das camadas estruturais do pavimento é obtido por meio da resolução sucessiva das seguintes Inequações (6, 7, 8):

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20} \quad (6)$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n \quad (7)$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S + h_n \times K_{REF} \geq H_m \quad (8)$$

Onde:

R: espessura da camada de revestimento;

K_R : coeficiente de equivalência estrutural do revestimento;

B: espessura da camada de base;

K_B : coeficiente de equivalência estrutural da base;

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

K_S : coeficiente de equivalência estrutural da sub-base;

h_{20} : espessura da camada de sub-base;

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

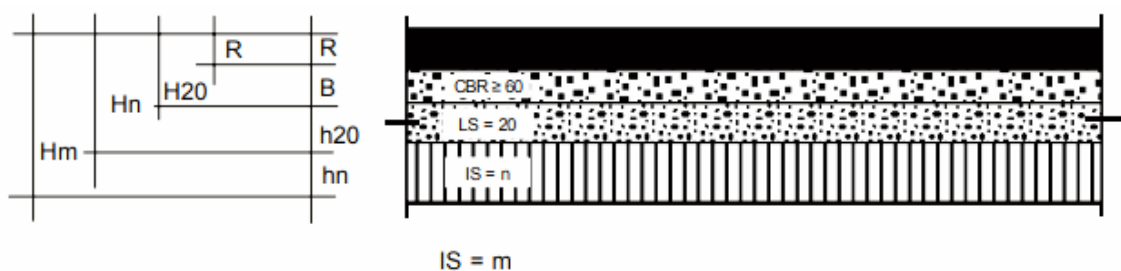
h_n : espessura da camada de reforço do subleito;

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

H_m : espessura total de pavimento necessária para proteger um material com CBR igual a m%.

A Figura 21 ilustra a simbologia utilizada no dimensionamento.

Figura 21. Camadas do pavimento



OBS: H_{20} é a espessura da camada necessária para proteger a camada com $IS = 20\%$ espessura; H_n é a espessura da camada necessária para proteger a camada com $IS = n\%$; e H_m é a espessura da camada necessária para proteger a camada de subleito com $IS = m\%$;

Fonte: DNIT, 2006.

A espessura do pavimento é determinada por meio do ábaco construído por SOUZA (1981) apresentado no Anexo D. Esta espessura é correlacionada com os valores do número do tráfego (N) e do índice de suporte do subleito (CBR) e é em termos de materiais com base granular, ou seja, $K = 1,00$. Os valores de H_{20} , H_n e H_m são obtidos por

meio deste ábaco. Mesmo que a sub-base apresente um CBR maior que 20%, adota-se para o cálculo da espessura desta camada um índice de suporte igual a 20%.

Os coeficientes de equivalência estruturais, correlacionados com diferentes tipos de materiais, são obtidos por meio da Tabela 20.

Tabela 20. Coeficiente de Equivalência Estrutural

Componentes do pavimento	Coeficiente de Equivalência Estrutural (K)
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,0
Base ou revestimento de pré-misturado a quente, de graduação densa.	1,7
Base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa.	1,4
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,2
Camadas granulares	1,0
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias superior a 45 kg/cm ²	1,0
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias entre 45 kg/cm ² e 28 kg/cm ²	1,4
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias entre 28 kg/cm ² e 21 kg/cm ²	1,2
Base de solo-cal	1,2

Fonte: SOUZA, 1981.

3.3 DNER-PRO 269/94 - Método da resiliência (TECNAPAV)

A norma DNER-PRO 269/94 classifica os solos da camada de subleito em função do valor do Índice de Suporte Califórnia (CBR) e porcentagem de silte, e divide em três grupos em relação às suas características resilientes, como mostra a Tabela 21.

Tabela 21. Grupos de Solos quanto à resiliência

CBR %	Porcentagem de Silte		
	≤ 35	35 a 65	≥ 65
≥ 10	I	II	III
6 a 9	II	II	III
2 a 5	III	III	III

Fonte: DNER (1994).

Para fins de dimensionamento, deve-se considerar como camadas granulares, as camadas de base, sub-base e reforço de subleito são constituídas por materiais granulares que contenham menos de 35%, em peso, passando na peneira de N° 200 (0,075 mm).

O número N, número de operações equivalente de um eixo padrão com carga de 8,2t, segue as recomendações indicadas na metodologia indicada pelo DNER (1981) e é calculado pela Equação 5.

Determinada a capacidade de suporte do subleito (CBR) e o tráfego de projeto (N), define-se a espessura total do pavimento (H_t), como mostra a Equação 9. Em seguida calcula-se a deflexão máxima admissível (\underline{D}) da estrutura do pavimento por meio da Equação 10:

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

$$\log \underline{D} = 3,148 - 0,188 \log N \quad (10)$$

Onde:

H_t é a espessura total de proteção do subleito (cm);

\underline{D} é a deflexão admissível (em 0,01mm).

A deflexão de projeto (D_{pj}) deve ser menor ou igual à deflexão máxima admissível (\underline{D}) para que o pavimento não sofra ruptura por fadiga. Posteriormente a espessura mínima da camada asfáltica (H_{CB}) é determinada pela Equação 11:

$$H_{CB} = -5,737 + \frac{807,961}{D_{pj}} + 0,972 I_1 + 4,101 I_2 \quad (11)$$

As constantes I_1 e I_2 estão relacionadas às características resilientes do subleito e da espessura da camada granular (H_{CG}). Na Tabela 22 estão expressos os valores das constantes quando a espessura da camada granular é menor ou igual a 45cm.

Tabela 22. Valores das constantes I_1 e I_2

Constante	Tipos de Solo		
	I	II	III
I_1	0	1	0
I_2	0	0	1

Fonte: DNER (1994).

A espessura da camada granular (H_{CG}) é determinada a partir da equação:

$$H_{CB} \times V_E + H_{CG} = H_t \therefore H_{CG} \leq 35 \text{ cm} \quad (12)$$

Onde V_E é o valor estrutural da camada betuminosa.

Os valores de V_E são obtidos pela relação do número de passagens de eixo padrão (N), e do tipo de solo do subleito. Os valores de V_E estão apresentados na Tabela 23 e foram obtidos por meio de análises de segmentos construídos na rodovia BR – 101/Niterói – Manilha (DNER, 1996). O método recomenda que caso H_{CG} seja maior que 35 cm, aumenta-se a espessura da camada de revestimento ou calcular uma camada de reforço (DNER, 1996).

Tabela 23. Valor estrutural da camada betuminosa

Tipo de Solo	N				
	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8
I	4,0	4,0	3,4	2,8	2,8
II	3,0	3,0	3,0	2,8	2,8
III	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Fonte: DNER (1996).

3.4 MeDiNa

A metodologia MeDiNa foi a principal ferramenta de análise e dimensionamento empírico-mecanicista adotada no trabalho. A seguir serão apresentadas as etapas adotadas no desenvolvimento e análise das estruturas do pavimento flexível.

ETAPA 1

A primeira etapa do dimensionamento consiste em lançar a estrutura do pavimento no programa. Os materiais que irão compor as camadas da estrutura do pavimento devem ser conhecidos e seus parâmetros devem ser definidos através de ensaios laboratoriais para que o dimensionamento e os resultados obtidos por meio do programa sejam confiáveis.

O *software* MeDiNa possui uma base de dados incorporada com informações de materiais ensaiados que são utilizadas como uma referência aos projetistas. As propriedades destes materiais não podem ser alteradas com exceção à espessura e Módulo (elástico não linear ou linear) quando disponível.

A fim de avaliar o comportamento das estruturas quando submetidos à ação do tráfego, utilizou-se na composição das estruturas dos estudos de caso parâmetros e características dos materiais da base de dados do MeDiNa, com exclusão do subleito, onde optou-se pela utilização de módulos conhecidos na literatura.

As camadas de revestimento projetadas para as rodovias estudadas serão compostas por Concreto Betuminoso Usinado à Quente Modificado com Asfalto-Borracha (CBUQ AB-8), Faixa B. O material da base de dados do MeDiNa usado para representar esta

camada é o concreto asfáltico borracha “CAPFLEX B PG 64-22” e seus parâmetros estão na Tabela 24.

Tabela 24. Parâmetros do revestimento asfáltico

Parâmetros	CAPFLEX B PG 64-22
Coefficiente de Poisson	0,30
Contato	Não Aderido
Módulo de Resiliência (MPa)	4980
Aditivo Modificador	Borracha
Massa Específica (g/cm ³)	2,4
Resistência Tração (MPa)	1,0
Fadiga – coef. de regressão (k ₁)	4,0e-12
Fadiga – coef. de regressão (k ₂)	-3,654
Classe de Fadiga	2
FFM (100μ a 250μ)	0,99

A composição da base e sub-base da estrutura do pavimento asfáltico, será respectivamente, em camadas de brita graduada (compactada a 100% do Proctor Modificado) e macadame seco, pois são opções viáveis face às condições da região de inserção do projeto.

O material constituinte da camada de base no *software* MeDiNa será a “Brita Graduada - Gnaisse C5” e para a camada de sub-base será utilizado a “Brita Graduada - Gnaisse C6” nos dois estudos de caso. Os parâmetros destes materiais são apresentados na Tabela 25. Na Tabela 26 são apresentados os parâmetros da Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) usada como uma alternativa no dimensionamento.

Tabela 25. Parâmetros dos materiais de base e sub-base do pavimento

Parâmetros	Base Gnaisse – C5	Sub-base Gnaisse – C6
Coefficiente de Poisson	0,35	0,35
Contato	Não Aderido	Não Aderido
Módulo de Resiliência Linear (MPa)	381,0	278,0
Massa Específica (g/cm ³)	2,223	2,025
Umidade Ótima (%)	5,0	7,5
Energia de Compactação	Modificada	Modificada
Abrasão Los Angeles (%)	43,0	43,0
DP ⁽¹⁾ - coef. de regressão (k1)	0,0868	0,1294
DP ⁽¹⁾ - coef. de regressão (k2)	-0,2801	-0,0647
DP ⁽¹⁾ - coef. de regressão (k3)	0,8929	1,100
DP ⁽¹⁾ - coef. de regressão (k4)	0,0961	0,0735

DP⁽¹⁾ – Deformação permanente.

Tabela 26. Parâmetros Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC)

Parâmetros	BGTC
Coefficiente de Poisson	0,25
Contato	Não Aderido
Módulo Constituinte	Sigmoidal
$E_i^{(1)}$ (MPa)	7000
$E_f^{(2)}$ (MPa)	700
Constante A	-4,000
Constante B	14,000
Teor ótimo de cimento (%)	80,0
Resistência à tração (MPa)	1,25
Massa Específica (g/cm ³)	2,230
Umidade Ótima (%)	4,48
Energia de Compactação	Modificada
Fadiga - coef. de regressão (k1)	17,14
Fadiga - coef. de regressão (k2)	-19,61

$E_i^{(1)}$ – Módulo Inicial; $E_f^{(2)}$ - Módulo Final.

Para uma boa análise da camada de subleito no *software* MeDiNa são necessários ensaios para prever o comportamento desta camada quando submetido ao tráfego. Os principais parâmetros utilizados na análise são o Módulo de Resiliência, Coeficiente de Poisson e Deformação Permanente, que são obtidos por meio dos ensaios laboratoriais citados no tópico 2.8.7.

No dimensionamento empírico, os únicos ensaios requeridos são os ensaios de caracterização do solo e o ensaio do CBR, realizado pelo Método Marshall. Visto que, estes foram os únicos ensaios realizados nas rodovias dos estudos de caso, optou-se por buscar em referências bibliográficas solos semelhantes aos utilizados na camada final de terraplenagem.

Os solos selecionados para o subleito das rodovias foram retirados do estudo realizado por NORBACK e MOTTA (2018) e seus parâmetros são mostrados na Tabela 27.

Tabela 27. Parâmetros do subleito

Parâmetros	BR-280/SC	SC-281
Coefficiente de Poisson	0,45	0,45
Grupo MCT	NA'	NG'
MCT – Coeficiente c'	0,80	1,67
MCT – Índice e'	1,57	1,29
MR ⁽¹⁾ - coef. de regressão (k1)	51,8	135,2
MR ⁽¹⁾ - coef. de regressão (k2)	0,36	0,26
MR ⁽¹⁾ - coef. de regressão (k3)	-0,79	-0,65
Massa Específica (g/cm ³)	1,848	1,683
Umidade Ótima (%)	12,8	19,5
Energia de Compactação	Intermediário	Intermediário
DP ⁽²⁾ - coef. de regressão (k1)	0,57	0,39
DP ⁽²⁾ - coef. de regressão (k2)	0,71	0,84
DP ⁽²⁾ - coef. de regressão (k3)	0,27	0,54
DP ⁽²⁾ - coef. de regressão (k4)	0,05	0,06

MR⁽¹⁾ – Módulo Resiliente; DP⁽¹⁾ – Deformação permanente.

ETAPA 2

Após a definição das propriedades das camadas do pavimento deverá ser calculado o número equivalente total de passagens do eixo padrão rodoviário (N_{total}). Para que o programa realize o cálculo do N_{total} deve-se selecionar qual o tipo da via e inserir dados referentes ao: Volume Médio Diário (VMD) ou número de passagens anual do eixo padrão para o 1º ano (N_{anual}); percentual de veículos na faixa de projeto; taxa de crescimento do tráfego; e período de projeto, como mostra a Figura 22.

Figura 22. Tela do software MeDiNa para cálculo do número N

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
DADOS DO TRÁFEGO	
Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	26775
FV:	1,000
N anual (1º ano):	9,77e+06
% Veículos na faixa de projeto:	50
N Anual da faixa:	4,89e+06
Taxa de crescimento (%):	3,0
Período de projeto (anos):	10
N Total:	5,60e+07

O Fator de Veículo (FV) é calculado automaticamente conforme o método do DNIT, com os fatores de carga definidos pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza. Para o

cálculo do FV devem ser inseridas, na região destacada na Figura 22, as configurações de eixo dos veículos contabilizados no estudo de tráfego e seu percentual no primeiro ano da contagem. A carga de cada eixo é inserida de forma automática pelo programa e segue o critério da distribuição de cargas apresentado no Anexo B, no entanto, este valor pode ser alterado. O fator de carga é dado pelo *software*, que utiliza as equações apresentadas na Tabela 18 para o cálculo.

A Resolução CONTRAN nº 803, de 22 de outubro de 2020, por meio do Artigo 6º determinou as tolerâncias de peso dos veículos por balança rodoviária admitidas na fiscalização, sendo: 5% (cinco por cento) sobre os limites de pesos regulamentares para o peso bruto total (PBT) e peso bruto total combinado (PBTC); e 10% (dez por cento) sobre os limites de peso regulamentares por eixo de veículos. No cálculo do FV deste trabalho serão utilizados os dados adotados no projeto.

A Tabela 28 apresenta as configurações de eixos dos veículos contabilizados no estudo de tráfego, a porcentagem do fator de eixo em relação ao VMD total e os tipos de eixo com os Fatores de Veículo (FV) de cada categoria da rodovia BR-280/SC. Os dados para a rodovia SC-281 são apresentados na Tabela 29. Em ambas as rodovias não foram considerados os veículos de passeio, veículos utilitários e motos para a projeção. Isto porque estes tipos de veículos têm influência na avaliação da capacidade das vias, porém em dimensionamento de pavimentos são desconsiderados.

Tabela 28. Fator de Veículo por eixo (BR-280/SC)

Configuração	Tipo de eixo	Fator de eixo (%)	FV_{USACE} (10% TOLERÂNCIA)
2CB	ESRS e ESRD	5,81%	6,213
2C	ESRS e ESRD	31,61%	6,213
3C	ESRS e ETD	30,24%	14,607
4C	ESRS e ETT	1,69%	15,963
2S1	ESRS, ESRD e ESRD	1,86%	12,110
2S2	ESRS, ESRD e ETD	1,88%	20,517
2S3	ESRS, ESRD e ETT	13,89%	21,887
3S2	ESRS, ETD e ETD	4,43%	28,931
3S3	ESRS, ETD e ETT	5,98%	20,030
2C2	ESRS, ESRD, ESRD e ESRD	0,32%	18,025
2C3	ESRS, ESRD, ESRD e ETD	0,15%	26,442
3C2	ESRS, ETD, ESRD e ESRD	0,06%	26,442
3C3	ESRS, ETD, ESRD e ETD	0,15%	19,309
3D4	ESRD, ETD, ETD e ETD	1,94%	43,296

Tabela 29. Fator de Veículo por eixo (SC-281)

Configuração	Tipo de eixo	Fator de eixo (%)	FV _{USACE} (10% TOLERÂNCIA)
2CB	ESRS e ESRD	6,40%	6,213
3CB	ESRS e ETD	0,80%	4,287
2C	ESRS e ESRD	51,20%	6,213
3C	ESRS e ETD	34,40%	14,607
2S2	ESRS, ESRD e ETD	5,60%	20,517
2C3	ESRS, ESRD, ESRD e ETD	0,80%	26,442
3C3	ESRS, ETD, ESRD e ETD	0,80%	19,309

Os dados do tráfego devem ser inseridos com bastante cautela, pois este parâmetro é essencial nas análises de fadiga do pavimento, pois a função da calibração dos modelos de fadiga é baseada na comparação entre a evolução da área trincada com o número de passagens do eixo padrão estimado.

ETAPA 3

Finalizado os lançamentos dos dados da estrutura e do tráfego foi realizado o dimensionamento das camadas da estrutura.

No dimensionamento o *software* realiza uma análise da camada asfáltica, alterando a espessura da camada, de forma a atender o critério da fadiga. Quando o critério de fadiga é atingido é realizada então a verificação da estrutura quanto a deformação permanente total. Caso a deformação permanente seja maior que a permitida, o programa aumenta gradativamente a espessura da camada em estudo, em intervalos fixos (0,5cm em camadas asfálticas e 1cm nas demais camadas), até atingir o limite estabelecido. O último critério a ser verificado é a fadiga nas misturas estabilizadas.

Após as análises, na aba Resultados ficarão disponível os relatórios consulta, podendo ser: Evolução Mensal de Danos; Resumo da Deformação Permanente e Bacias de Deflexão e Relatório Completo de Análise. FRANCO e MOTTA (2020) descrevem cada um deles como:

- Evolução Mensal de Danos: mostra os resultados do comportamento da área trincada, da deformação permanente total e do Módulo Sigmoidal quando houver camadas cimentadas na estrutura;
- Resumo da Deformação Permanente e Bacias de Deflexão: exhibe um resumo da deformação permanente na estrutura ao fim do período de análise, com a contribuição de cada camada na deformação permanente total;

- Relatório Completo de Análise: apresenta todas as informações usadas no dimensionamento ou na análise da estrutura.

O *software* MeDiNa realiza a análise de acordo com o tipo de via, ressalta-se que as rodovias selecionadas neste trabalho são classificadas como o sistema arterial principal, desta forma, a análise apresenta uma confiabilidade de 95%, limitando a área trincada em 30% e a deformação permanente em 10 mm (FRANCO; MOTTA, 2020). Sendo assim, todas as análises serão realizadas com base nesses valores.

3.5 Orçamento

Os orçamentos das obras rodoviárias no Brasil utilizado como referenciais de custos licitações de obras e projetos, tem como base as composições de custo do Sistema de Custos Rodoviários (SICRO). Esta ferramenta é elaborada e anualmente revisada pelo DNIT para cada região do país, de modo a manter atualizada a definição de custos (KOYAMA *et al.*, 2020).

O SICRO utilizado neste trabalho foi a da região Sul, estado de Santa, elaborado em outubro de 2020. Os serviços utilizados para a estimativa do orçamento das estruturas e seus custos são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30. Custo unitário por serviço

Código	Descrição do Serviço	Custo (R\$)	Unidade
4011276	Base ou sub-base de brita graduada com brita comercial	107,87	m ³
4011279	Base ou sub-base de macadame seco com brita comercial	93,09	m ³
4011470	Concreto asfáltico com borracha - faixa B - brita comercial	139,23	t
4011352	Imprimação com emulsão asfáltica	0,22	m ²
4011353	Pintura de ligação	0,15	m ²
4011209	Regularização do subleito	0,69	m ²

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados dos dimensionamentos obtidos por meio dos métodos DNER (1981), DNER-PRO 269/94 e MeDiNa. A capacidade de suporte do subleito e a projeção e volume do tráfego médio diário anual das rodovias estudadas, foram retirados dos projetos executivos realizados pela empresa Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia.

A fim de se ter um bom desempenho em campo e proporcionar uma maior vida útil ao revestimento adotaram-se como camada de revestimento, para as estruturas dos estudos de caso, Concreto Betuminoso Usinado à Quente Modificado com Asfalto-Borracha (Capflex B). O método do DNIT não faz distinção entre uma mistura asfáltica convencional ou com asfaltos modificados. Neste caso, mesmo que o método tenha sido concebido para revestimentos com misturas com asfalto convencional e, considerando o elevado volume de tráfego pesado, a opção por uma mistura asfáltica com asfalto modificado pode ser considerada uma opção adequada. No entanto, o ideal é o uso de métodos empírico-mecanicistas de dimensionamento, nos quais o comportamento mecânico distinto, entre misturas convencionais e modificadas podem ser avaliados de forma mais fidedigna.

Após o dimensionamento, foram realizadas as análises do desempenho da estrutura do pavimento e seu comportamento quanto à deformação permanente e critério de fadiga. As análises serão realizadas com um nível de confiabilidade de 95% para o tipo de via adotada, sistema arterial principal. Ressalta-se que as avaliações das estruturas das rodovias estudadas são apenas estimativas, visto que os materiais utilizados das estruturas no *software* MeDiNa foram retirados do *default* do programa. O ideal para a análise seria utilizar os dados provenientes de ensaios laboratoriais dos materiais que seriam empregados na implantação de cada rodovia.

Os relatórios completos das análises e dimensionamentos das estruturas no programa MeDiNa constam do Apêndice A.

4.1 Dimensionamento pelo método do DNER (1981)

Rodovia BR-280/SC – Lote 22

Por meio da Equação 5 obteve-se o número N , número de operações equivalente de um eixo padrão com carga de 8,2t. Para o cálculo desconsiderou-se os carros de passeio e as motocicletas. O fator de pista adotado foi de 0,45 (pista dupla) e o fator climático regional como 1,0. Os fatores de veículo para cada categoria (FV_i) foram calculados

utilizando as cargas com as tolerâncias máximas admitidas pela Resolução CONTRAN nº 803/2020, de 10 de outubro de 2020. Todos estes dados são mostrados na Tabela 31.

Tabela 31. Fatores de Equivalência da rodovia BR-280/SC

Fatores de Equivalência de Veículo			
Veículo	VMDAT _i ⁽¹⁾	FV _i ⁽²⁾	VMDAT _i x FV _i / \sum VMDAT
2CB	519	6,213	0,361
2C	2824	6,213	1,964
3C	2702	14,607	4,418
2S1	166	15,963	0,297
4C	151	12,110	0,205
2S2	168	20,517	0,386
2S3	1241	21,887	3,040
3S2	396	28,931	1,282
3S3	534	20,030	1,197
2C2	29	18,025	0,059
2C3	13	26,442	0,038
3C2	5	26,442	0,015
3C3	13	19,309	0,028
3D4	173	43,296	0,838
Total	8934	-	FV_{USACE} = 14,128

VMDAT_i⁽¹⁾ = Volume Médio Diário Anual de Tráfego por eixo; FV_i⁽²⁾ = Fator de Veículo por eixo

Fonte: Adaptado de Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia (2012)

Considerando um crescimento do volume médio diário anual de tráfego de 3% ao ano, o número N calculado para o período de projeto de 10 (dez) anos foi de $2,38 \times 10^8$.

As camadas de base e sub-base para o pavimento asfáltico serão compostas em camadas de brita graduada (Proctor Modificado) e macadame seco, respectivamente.

Através do ábaco apresentado no Anexo D, obteve-se a espessura de pavimento necessária para proteger as camadas de sub-base com CBR = 20% e subleito com CBR = 6%, sendo $H_{20} = 33$ cm e $H_6 = 68$ cm.

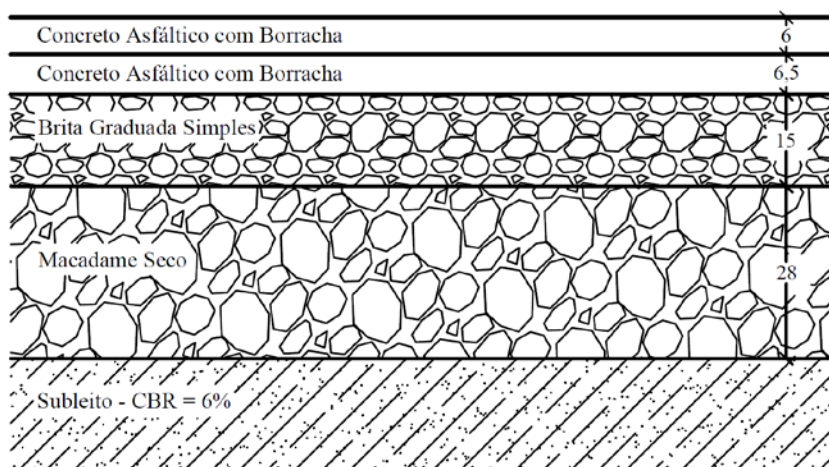
A espessura mínima da camada de revestimento foi obtida por meio da Tabela 19, e por meio das Inequações 6, 7 e 8 foram obtidas as espessuras mínimas das camadas granulares. O coeficiente de equivalência estrutural de cada camada do pavimento foi obtido por meio da Tabela 20, eles são apresentados na Tabela 32 juntamente com as espessuras mínimas e espessuras adotadas.

Tabela 32. Dados obtidos no dimensionamento do pavimento

Camada	Coefficiente estrutural (K)	Espessura mínima (cm)	Espessura adotada (cm)	Espessura total do pavimento (cm)
Revestimento	2,0	12,5	12,5	68,0
Base	1,0	8,0	15,0	
Sub-base	1,0	28,0	28,0	

A Figura 23 ilustra a Estrutura 01, pavimento da rodovia BR-280/SC – Lote 22 dimensionada pelo método do DNER (1981).

Figura 23. Estrutura 01 da rodovia BR-280 – Lote 22 dimensionada pelo método DNER (1981)



A Estrutura 01 demandaria de um investimento de, aproximadamente, R\$ 1.875.205,62 por quilometro (km), considerando as espessuras constituintes e pinturas de ligação e imprimação.

A fim de avaliar seu desempenho, a Estrutura 01 foi inserida *software* MeDiNa e por meio da rotina “Avaliar estrutura” foi possível observar no quinto mês de utilização a estrutura estaria comprometida quanto a fadiga, apresentando uma área trincada maior que 30%. Se executada, esta estrutura antes de finalizar o primeiro ano de utilização estaria comprometida com 99% de área trincada, provocando uma perda de servicibilidade do pavimento e trazendo desconforto ao usuário.

A Tabela 33 apresenta o resumo das análises de área trincada e o afundamento de trilha de roda (ATR) ao longo da vida útil projetada. Nota-se que a estrutura não atendeu ao critério de fadiga, sendo este o dano mais crítico da estrutura.

Tabela 33. Desempenho da Estrutura 01 no software MeDiNa

Estrutura 01			
Mês	Neq⁽¹⁾	Área Trincada (%)	ATR⁽²⁾ (mm)
1	1,703e+06	7,57%	6,65
5	8,558e+06	35,55%	7,39
12	2,072e+07	99,00%	7,83
48	8,667e+07	99,00%	8,60
60	1,100e+08	99,00%	8,74
120	2,375E+08	99,00%	9,20

Neq⁽¹⁾ – Número equivalente correspondente às solicitações de carga; ATR⁽²⁾ – Afundamento de trilha de roda.

Rodovia SC-281 (km 23,050 ao km 45,913)

Para o cálculo do número N desconsiderou-se os veículos de passeio e motocicletas, foi adotado um fator de pista de 0,5 (pista simples) e fator climático regional como 1,0. Os fatores de veículo (FV_i) foram obtidos com a tolerância de carga 10%, permitida pela Resolução CONTRAN nº 803/2020, de 10 de outubro de 2020.

A Tabela 34 mostra os valores do número N (calculado) para cada ano de projeto. O número N utilizado para o dimensionado é o valor acumulado ao final do período de 10 anos sendo $N = 3,02 \times 10^6$.

Tabela 34. Fatores de Veículo da rodovia SC-281

Ano	Progressão do Volume Médio Diário Anual de Tráfego							N	N_{acumulado}
	2CB	3CB	2C	3C	2S2	2C3	3C3		
2022	8	1	64	43	7	1	1	2,32E+05	2,32E+05
2023	8	1	70	47	8	1	1	2,53E+05	4,84E+05
2024	8	1	76	51	8	1	1	2,70E+05	7,55E+05
2025	8	1	79	53	8	1	1	2,79E+05	1,03E+06
2026	8	1	82	55	9	1	1	2,91E+05	1,33E+06
2027	8	1	86	58	9	2	2	3,12E+05	1,64E+06
2028	8	1	90	60	9	2	2	3,22E+05	1,96E+06
2029	9	1	94	63	10	2	2	3,40E+05	2,30E+06
2030	9	1	98	66	10	2	2	3,52E+05	2,65E+06
2031	9	1	102	69	11	2	2	3,68E+05	3,02E+06

VMDAT_i⁽¹⁾ = Volume Médio Diário Anual de Tráfego por eixo; FV_i⁽²⁾ = Fator de Veículo por eixo
 Fonte: Adaptado de Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia (2012)

Os materiais constituintes das camadas de base e sub-base serão, respectivamente, brita graduada (Proctor Modificado) e macadame seco, e o coeficiente de equivalência estrutural de cada camada do pavimento foi obtido retirado da Tabela 20.

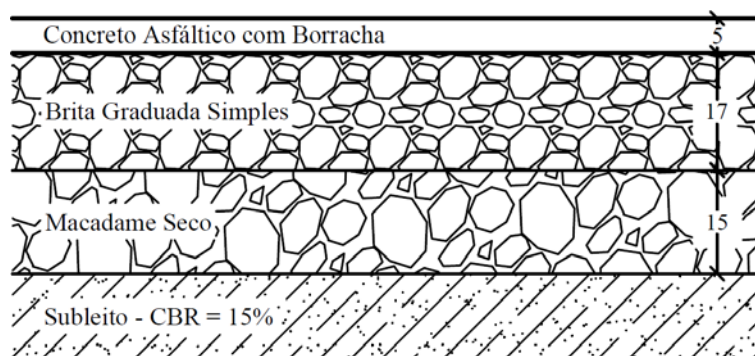
Por meio do ábaco apresentado no Anexo D, obteve-se a espessura de pavimento necessária para proteger as camadas de sub-base com CBR = 20% e subleito com CBR = 15%, sendo $H_{20} = 27$ cm e $H_{15} = 32$ cm. A espessura mínima da camada de revestimento foi obtida pela Tabela 19 e as espessuras das camadas granulares foram obtidas através das Inequações 6, 7 e 8, conforme Tabela 35.

Tabela 35. Dados obtidos no dimensionamento do pavimento

Camada	Coefficiente estrutural (K)	Espessura mínima (cm)
Revestimento	2,0	5,0
Base	1,0	17,0
Sub-base	1,0	5,0

Por meio das espessuras mínimas são propostas duas estruturas, Estrutura 02 e Estrutura 03. A Estrutura 02 (Figura 24) é composta por uma camada de 15,0 cm de material granular de macadame seco, seguido de uma camada de 17,0 cm de brita graduada e revestimento asfáltico com borracha de 5,0 cm de espessura. O custo estimado para esta estrutura é de R\$ 480.843,93 por km.

Figura 24. Estrutura 02 da rodovia SC-281 dimensionada pelo método DNER (1981)



Analisando a Estrutura 02 no *software* MeDiNa, nota-se que ela possui um desempenho considerado satisfatório, apresentando ao final de 10 anos uma área trincada de 21,55% e afundamento de trilha de roda de 7,35 mm. A Tabela 36 apresenta o resumo das análises ao longo da vida útil projetada. Conclui-se que a estrutura atende os critérios de fadiga e deformação permanente para o tipo de via considerado.

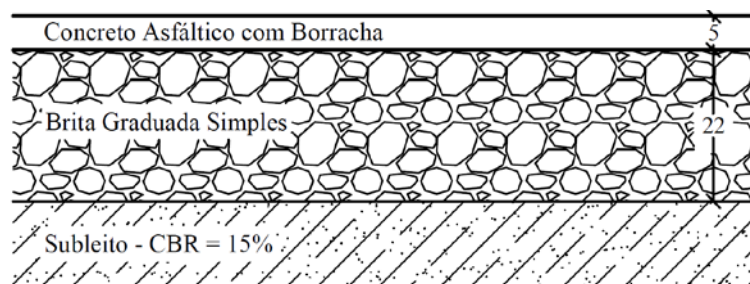
Tabela 36. Desempenho da Estrutura 02 no software MeDiNa

Estrutura 02			
Mês	Neq⁽¹⁾	Área Trincada (%)	ATR⁽²⁾ (mm)
1	1,881e+04	1,55%	5,03
12	2,316e+05	3,88%	6,07
48	1,010e+06	8,19%	6,77
60	1,301e+06	9,76%	6,90
120	3,025e+06	21,55%	7,35

Neq⁽¹⁾ – Número equivalente correspondente às solicitações de carga; ATR⁽²⁾ – Afundamento de trilha de roda.

Para a Estrutura 03 (Figura 25) fez-se necessário compor de uma camada de brita graduada de 22,0 cm e uma camada de revestimento asfáltico com borracha de 5,0 cm de espessura. Em relação a custos, a Estrutura 03 requer um investimento de R\$ 399.428,93 por km, cerca de 20% mais econômica por utilizar menos material granular.

Figura 25. Estrutura 03 da rodovia SC-281 dimensionada pelo método DNER (1981)



A Estrutura 03, quando analisada no *software* MeDiNa, apresentou no final da vida de projeto um afundamento de trilha de roda de 6,24 mm e área trincada igual a 18,85%. As análises de área trincada e o ATR ao longo da vida útil projetada são apresentados na Tabela 37. É possível analisar que esta estrutura é economicamente mais viável quando comparada com a Estrutura 02, além de ter um melhor desempenho.

Tabela 37. Desempenho da Estrutura 03 no software MeDiNa

Estrutura 03			
Mês	Neq⁽¹⁾	Área Trincada (%)	ATR⁽²⁾ (mm)
1	1,881e+04	1,49%	4,20
12	2,316e+05	3,70%	5,10
48	1,010e+06	7,60%	5,72
60	1,301e+06	8,97%	5,84
120	3,025e+06	18,85%	6,24

Neq⁽¹⁾ – Número equivalente correspondente às solicitações de carga; ATR⁽²⁾ – Afundamento de trilha de roda.

4.2 Dimensionamento pelo método do DNER-PRO 269/94 - Método da resiliência (TECNAPAV)

Rodovia BR-280/SC – Lote 22

O número N, obtido por meio da Equação 5, para o período de projeto de 10 (dez) anos foi de $2,38 \times 10^8$.

O solo constituinte do subleito foi classificado quanto à resiliência como sendo um solo do tipo II, tendo em vista o valor do CBR = 6% e suas características granulométricas, S (% Silte) = 50%. Por estas condições, os valores das constantes relacionadas às características do subleito e espessura da camada granular, obtidos pela Tabela 22, são $I_1 = 1$ $I_2 = 0$. O valor estrutural da camada de revestimento, de acordo com a Tabela 23, é de 2,8.

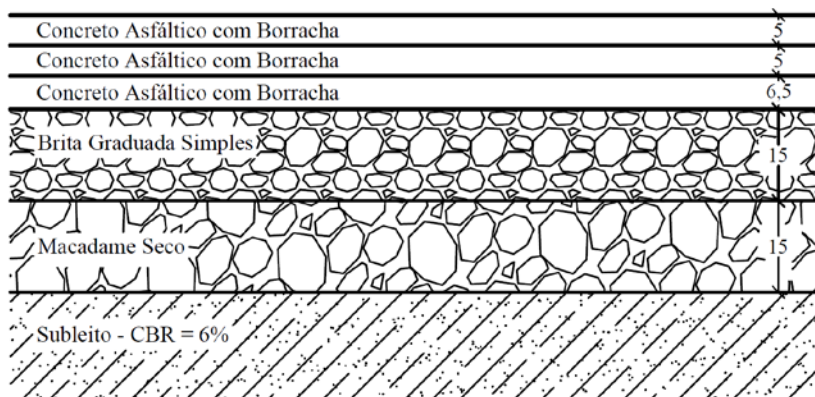
A espessura total do pavimento (H_t) calculada pela Equação 9 resultou em 68 centímetros e a deflexão de projeto máxima admissível para a estrutura do pavimento (D_p) em 38,0 (0,01 mm). Por meio das equações 11 e 12 obteve-se, respectivamente, a espessura mínima das camadas de revestimento asfáltico e da camada granular e são mostradas na Tabela 38.

Tabela 38. Dados obtidos no dimensionamento do pavimento

Camada	Espessura mínima (cm)
Revestimento	16,5
Camada Granular	21,8

A partir deste método foram concebidas duas estruturas para a rodovia SC-281. A primeira estrutura é a Estrutura 04 composta por uma camada de sub-base de macadame seco com 15,0 cm de espessura, seguido por uma camada de 15,0 cm de brita graduada, e três camadas de revestimento asfáltico com borracha, com espessuras de 5,0 cm, 5,0 cm e 6,5 cm. Esta estrutura é ilustrada na Figura 26.

Figura 26. Estrutura 04 da rodovia BR-280 – Lote 22 dimensionada pelo método DNER-PRO 269/94



A Estrutura 04 resultou em um orçamento de R\$ 1.917.785,70 por km. Quando analisada no *software* MeDiNa apresentou um desempenho não satisfatório, onde no sétimo mês a área trincada ultrapassava de 30% estando comprometida quanto à fadiga antes do final do primeiro ano de utilização. Na Tabela 39 são apresentados os valores de ATR e a porcentagem de área trincada desta estrutura.

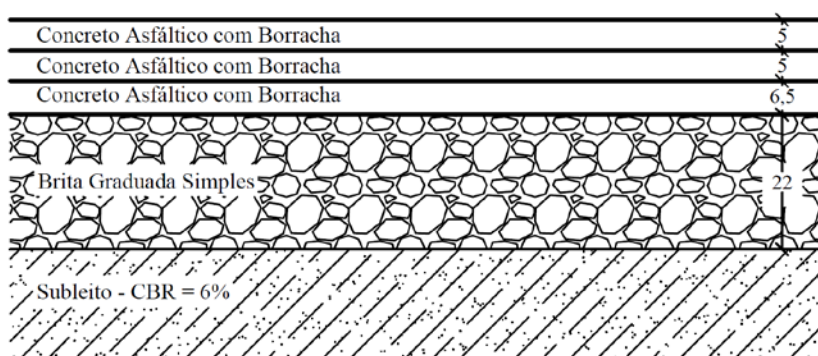
Tabela 39. Desempenho da Estrutura 04 no software MeDiNa

Estrutura 04			
Mês	Neq⁽¹⁾	Área Trincada (%)	ATR⁽²⁾ (mm)
1	1,703e+06	5,93%	5,14
7	1,201e+07	31,49%	5,81
12	2,072e+07	66,06%	6,01
48	8,667e+07	99,00%	6,58
60	1,100e+08	99,00%	6,68
120	2,375e+08	99,00%	7,02

Neq⁽¹⁾ – Número equivalente correspondente às solicitações de carga; ATR⁽²⁾ – Afundamento de trilha de roda.

A segunda estrutura proposta é a Estrutura 05 (Figura 27) constituída por uma cada de brita graduada de 22,0 cm de espessura e três camadas de revestimento asfáltico com borracha, com espessuras de 5,0 cm, 5,0 cm e 6,5 cm, demandando de um investimento total de aproximadamente R\$ 1.779.273,54 por km.

Figura 27. Estrutura 05 da rodovia BR-280 – Lote 22 dimensionada pelo método DNER-PRO 269/94



Quando seu desempenho foi analisado no *software*, a Estrutura 05 apresentou área trincada maior que 30% no oitavo mês de utilização. Esta estrutura apresentou um mês de vantagem em relação se comparada à Estrutura 04, no entanto não atendeu ao critério de fadiga.

Se a estrutura proposta for executada, apresentará uma área trincada ao fim do período de dez anos igual 99,00% e a ATR igual a 6,84 mm, assim, a estrutura não possui

um desempenho satisfatório. O resumo das análises de área trincada e ATR ao longo da vida útil projetada são apresentados na Tabela 40.

Tabela 40. Desempenho da Estrutura 05 no *software* MeDiNa

Mês	Neq ⁽¹⁾	Estrutura 05	
		Área Trincada (%)	ATR ⁽²⁾ (mm)
1	1,703e+06	5,51%	4,95
8	1,374e+07	31,15%	5,66
12	2,072e+07	54,64%	5,82
48	8,667e+07	99,00%	6,40
60	1,100e+08	99,00%	6,50
120	2,375e+08	99,00%	6,84

Neq⁽¹⁾ – Número equivalente correspondente às solicitações de carga; ATR⁽²⁾ – Afundamento de trilha de roda.

As estruturas da BR-280/SC dimensionadas pelo método da Resiliência apresentaram um ATR menor que a da Estrutura 01, dimensionada pelo método empírico do DNIT. Este fato pode ser justificado pela consideração do comportamento resiliente de materiais, no método do DNER PRO 269/94.

Rodovia SC-281 (km 23,050 ao km 45,913)

Tendo em vista o valor do CBR = 15% e percentual de silte (% Silte) igual a 50%, o solo constituinte do subleito foi classificado quanto à resiliência como sendo um solo do tipo II. Sendo assim, os valores das constantes relacionadas às características do subleito e espessura da camada granular são $I_1 = 1$ e $I_2 = 0$.

O número N, obtido por meio da Equação 5, foi de $3,02 \times 10^6$. Por estas condições de tráfego, de acordo com a Tabela 23, o valor estrutural da camada de revestimento é de 3,0.

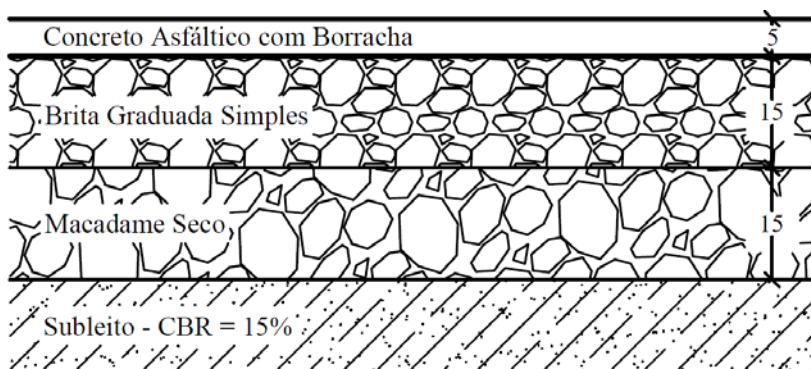
A espessura total do pavimento (H_t) calculada pela Equação 9 resultou em 32 centímetros e a deflexão de projeto máxima admissível para a estrutura do pavimento (D_p) em 86,0 (0,01 mm). Por meio das equações 11 e 12 obteve-se, respectivamente, a espessura mínima das camadas de revestimento asfáltico e base. As espessuras calculadas e adotadas para a execução da estrutura do pavimento são mostradas na Tabela 41.

Tabela 41. Dados obtidos no dimensionamento do pavimento

Camada	Espessura mínima (cm)
Revestimento	4,7
Camada Granular	17,0

Por meio das espessuras mínimas obtidas são propostas duas estruturas: Estrutura 06 e Estrutura 07. A Estrutura 06 (Figura 28) é composta por uma camada de material granular de macadame seco de 15,0 cm de espessura, uma camada de brita graduada simples de 15,0 cm, seguido por revestimento asfáltico de borracha de 5,0 cm de espessura.

Figura 28. Estrutura 06 da rodovia SC-281 dimensionada pelo método DNER-PRO 269/94



O custo estimado desta estrutura é de R\$ 460.348,63 por km. Ao inserir esta estrutura no *software* MeDiNa, obteve-se um resultado satisfatório, pois apresentará, ao chegar no 120º mês (10 anos de projeto), uma área trincada de 22,63% e ATR de 7,20 mm, ambos dentro dos limites impostos ao tipo da via. Na Tabela 42 estão apresentados os valores de área trincada e ATR desta estrutura.

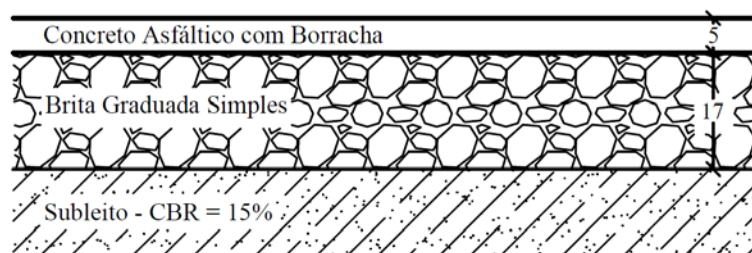
Tabela 42. Desempenho da Estrutura 06 no software MeDiNa

Mês	Neq ⁽¹⁾	Estrutura 06	
		Área Trincada (%)	ATR ⁽²⁾ (mm)
1	1,881e+04	1,57%	4,95
12	2,316e+05	3,95%	5,96
48	1,010e+06	8,42%	6,64
60	1,301e+06	10,06%	6,77
120	3,025e+06	22,63%	7,20

Neq⁽¹⁾ – Número equivalente correspondente às solicitações de carga; ATR⁽²⁾ – Afundamento de trilha de roda.

A última estrutura proposta, Estrutura 07 (Figura 29), é constituída de uma camada de 17,0 cm de brita graduada e uma camada de revestimento asfáltico de borracha com espessura de 5,0 cm.

Figura 29. Estrutura 07 da rodovia SC-281 dimensionada pelo método DNER-PRO 269/94



O desempenho desta estrutura foi melhor que o da Estrutura 06 apresentando ao final da vida de projeto ATR de 5,61 mm e área trincada igual a 20,51%, considerado satisfatório. A Tabela 43 apresenta um resumo do desempenho da estrutura.

Tabela 43. Desempenho da Estrutura 07 no software MeDiNa

Estrutura 07			
Mês	Neq ⁽¹⁾	Área Trincada (%)	ATR ⁽²⁾ (mm)
1	1,881e+04	1,53%	3,83
12	2,316e+05	3,81%	4,62
48	1,010e+06	7,97%	5,17
60	1,301e+06	9,46%	5,26
120	3,025e+06	20,51%	5,61

Neq⁽¹⁾ – Número equivalente correspondente às solicitações de carga; ATR⁽²⁾ – Afundamento de trilha de roda.

A Estrutura 07 requer um investimento total de R\$ 348.190,68 por km, sendo a estrutura mais economicamente viável para ser implantada na rodovia SC-281 dentre àquelas dimensionadas pelos métodos do DNER (1981) e DNER-PRO 269/94.

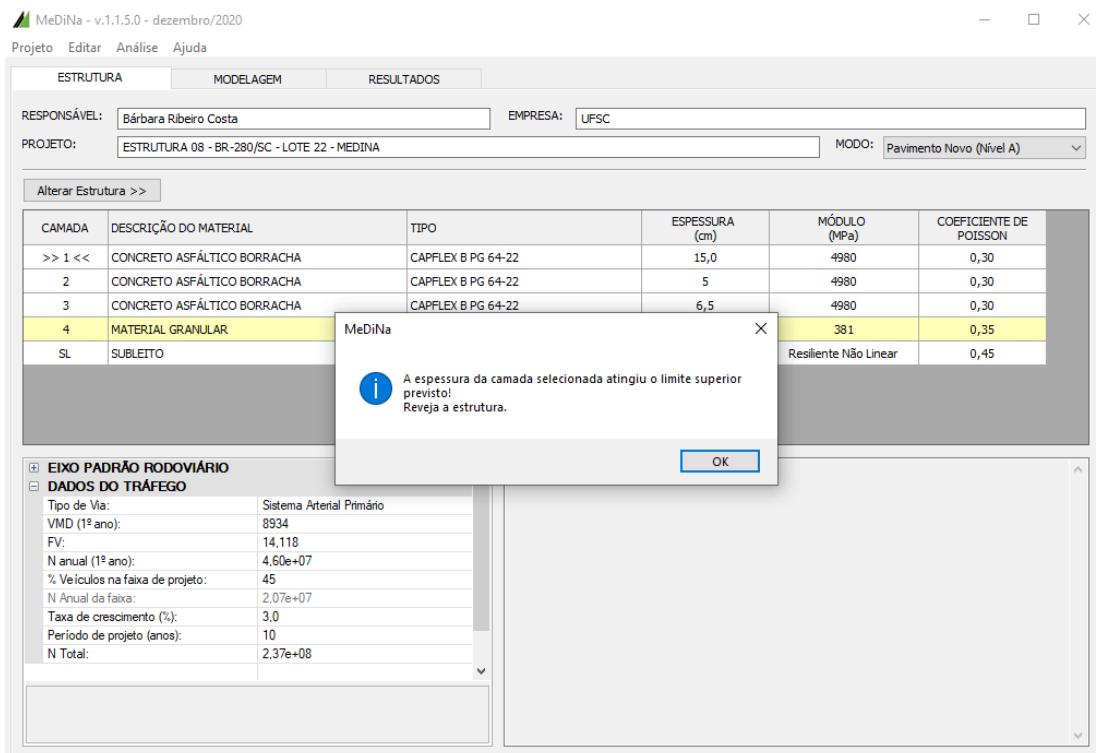
4.3 MeDiNa

Rodovia BR-280/SC – Lote 22

Para o dimensionamento da rodovia BR-280/SC no software MeDiNa, inicialmente considerou-se os mesmos dados da Estrutura 05 que foi dimensionada pela metodologia empírica do DNER-PRO 269/94. A estrutura inicial foi composta por 22,0 cm de brita graduada simples seguido de revestimento asfáltico com borracha com espessura de 16,5 cm.

Ao tentar dimensionar a primeira camada de revestimento asfáltico foi emitido um alerta pelo programa informando que “A espessura da camada selecionada atingiu o limite superior ao previsto”, sendo o limite desta camada igual a 15,0 cm, conforme Figura 30.

Figura 30. Alerta emitido pelo software MeDiNa

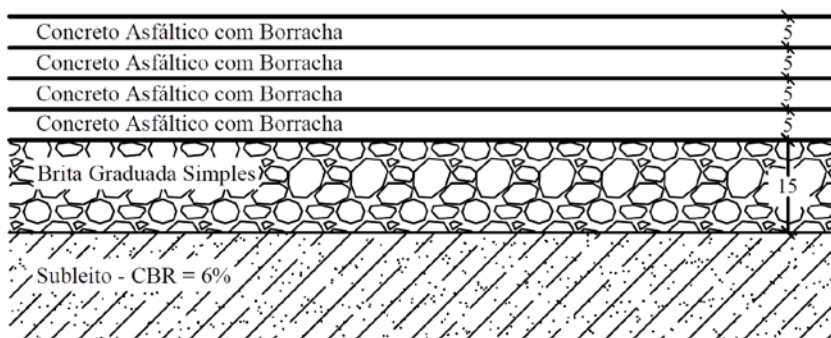


Este primeiro alerta indica que mesmo se a primeira camada de revestimento tivesse uma espessura igual a 15,0 cm, o pavimento apresentaria um desempenho insatisfatório com área trincada e afundamento de trilha de roda acima dos limites impostos para uma rodovia caracterizada como via arterial principal. Desta forma, tornou-se necessário aumentar a espessura da segunda camada de revestimento asfáltico.

Após algumas análises, observou-se que a espessura mínima de revestimento asfáltico necessária para suportar o elevado tráfego previsto para esta rodovia é de 20,0 cm, divididas em, no mínimo, 04 camadas de revestimento asfáltico. Sendo assim, foi proposta a Estrutura 08 composta por uma camada de 15,0 cm de brita graduada e quatro camadas de revestimento asfáltico com borracha 5,0 cm de espessura cada, conforme Figura 31.

As espessuras destas camadas foram definidas levando em consideração da facilidade de execução em campo.

Figura 31. Estrutura 08 dimensionada pelo software MeDiNa



A Estrutura 08 é cerca de 21% mais espessa que a dimensionada pelo método do DNER-PRO 269/94 e exigiria um investimento total de R\$ 1.882.558,80 por km. O aumento do custo é resultado da maior quantidade de revestimento a ser utilizado e acréscimo de uma pintura de ligação entre as camadas. É notório que o aumento da qualidade da estrutura do pavimento, neste caso, resultou em um acréscimo de capital a ser investido.

Na Tabela 44 são apresentadas as porcentagens de área trincada e os valores de ATR desta estrutura. E estrutura, quando composta desta maneira, apresentará ao final do 120° mês uma área trincada de 23,47% e ATR de 5,43 mm.

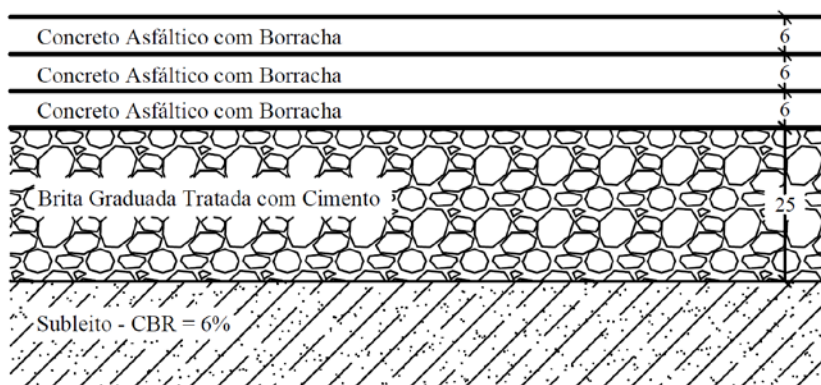
Tabela 44. Desempenho da Estrutura 08 no *software* MeDiNa

Estrutura 08			
Mês	Neq ⁽¹⁾	Área Trincada (%)	ATR ⁽²⁾ (mm)
1	1,703e+06	1,67%	4,01
12	2,072e+07	4,23%	4,67
48	8,667e+07	9,13%	5,10
60	1,100e+08	10,91%	5,17
120	2,375e+08	23,47%	5,43

Neq⁽¹⁾ – Número equivalente correspondente às solicitações de carga; ATR⁽²⁾ – Afundamento de trilha de roda.

Visando diminuir a espessura da camada de revestimento asfáltico, propôs-se a Estrutura 09 composta por uma camada de 25,0 cm de brita graduada tratada com cimento, com suas propriedades apresentadas na Tabela 26, e três camadas de revestimento asfáltico borracha com 6,0 cm de espessura cada uma. A Figura 32 ilustra esta estrutura.

Figura 32. Estrutura 09 dimensionada pelo *software* MeDiNa



Ao avaliar a nova estrutura proposta, a área trincada estimada do pavimento no fim do período de projeto foi de 26,52% e ATR igual a 3,5 mm. No entanto, o *software* emitiu um alerta informando que houve uma “Deflexão acima do limite 70 (0,01mm) da camada

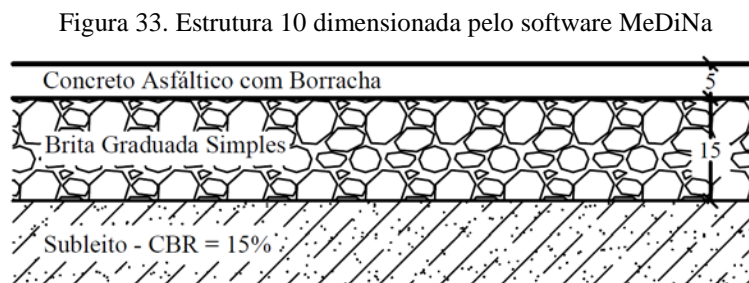
de suporte do material estabilizado”, ou seja, o material do subleito não possui boa qualidade para suportar as deflexões da camada estabilizada com cimento. Optou-se por adicionar uma camada de 20,0 cm de brita graduada simples como reforço de subleito, mas mesmo assim não foi possível melhorar o suporte da camada estabilizada. Ante estes resultados, uma solução possível seria substituir a camada final de terraplenagem por um material com uma capacidade de suporte melhor.

Rodovia SC-281 (km 23,050 ao km 45,913)

Todas as estruturas dimensionadas pelos métodos do DNER (1981) e DNER-PRO 269/94 para a rodovia SC-281 atenderam aos critérios de desempenho de maneira satisfatória, apresentando uma porcentagem de área trincada menor que 30% e ATR inferior a 10,00 mm.

Visando otimizar as estruturas do ponto de vista financeiro optou-se por redimensionar a Estrutura 07. Ao inserir a estrutura no *software* e dimensioná-la houve uma otimização da espessura da camada granular de brita graduada, passando de 17,0 cm para 15,0 cm

A Estrutura 10, resultado deste dimensionamento, tem sua composição apresentada na Figura 33.



O afundamento de trilha de roda (ATR) desta estrutura ao final dos 10 anos de projeto foi 5,35 mm. O desempenho quanto à deformação permanente teve contribuição apenas da camada granular e do subleito, sendo, respectivamente, os ATR de cada camada iguais a 2,18 mm e 3,16 mm.

Comparado com a Estrutura 07, o ATR diminuiu em, aproximadamente, 5%. Observa-se que entre as estruturas houve uma pequena redução da espessura da camada granular, o que resultou na redução do ATR e aumento do percentual de área trincada. Uma análise mais aprofundada deve ser considerada neste caso.

Na Tabela 45 são apresentados os valores os valores de ATR e a porcentagem de área trincada desta estrutura. Em relação a custos, a Estrutura 10 demandaria de um investimento de R\$ 327.695,38 por km, considerando as espessuras constituintes.

Tabela 45. Desempenho da Estrutura 10 no software MeDiNa

Estrutura 10			
Mês	Neq⁽¹⁾	Área Trincada (%)	ATR⁽²⁾ (mm)
1	1,881e+04	1,55%	3,67
12	2,316e+05	3,87%	4,42
48	1,010e+06	8,17%	4,93
60	1,301e+06	9,73%	5,02
120	3,025e+06	21,45%	5,35

Neq⁽¹⁾ – Número equivalente correspondente às solicitações de carga; ATR⁽²⁾ – Afundamento de trilha de roda.

Considera-se que caso a camada de brita graduada simples fosse substituída por uma camada de macadame seco de mesma espessura, a estrutura ainda terá um desempenho satisfatório apresentando no final da vida de projeto uma área trincada de 25,94% e ATR de 5,30 mm, ambos abaixo do limite imposto para este tipo de via. No entanto são necessários os dados de ensaios para comprovação. Esta estrutura custará cerca de R\$ 231.507,88, trazendo uma economia de 7% se contrastada com a estrutura anterior. A Tabela 46 apresenta o desempenho desta estrutura, denominada, Estrutura 11.

Tabela 46. Desempenho da Estrutura 11 no software MeDiNa

Estrutura 11			
Mês	Neq⁽¹⁾	Área Trincada (%)	ATR⁽²⁾ (mm)
1	1,881e+04	1,63%	3,80
12	2,316e+05	4,14%	4,48
48	1,010e+06	9,08%	4,93
60	1,301e+06	10,97%	5,02
120	3,025e+06	25,94%	5,30

Neq⁽¹⁾ – Número equivalente correspondente às solicitações de carga; ATR⁽²⁾ – Afundamento de trilha de roda.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

5.1 Considerações Finais

O objetivo principal do dimensionamento da estrutura de um pavimento é definir as espessuras e os materiais das camadas que o compõe capazes de suportar as solicitações do tráfego apresentando um bom comportamento funcional e estrutural durante sua vida útil de projeto. A pesquisa desenvolvida neste trabalho buscou comparar estruturas dimensionadas por meio dos atuais métodos vigentes no Brasil, DNER (1981) e DNER-PRO 269/94, e o Método MeDiNa que entrará em vigor.

Através das análises realizadas foi possível verificar que o método empírico do DNIT é falho quando a estrutura é submetida a tráfegos elevados, pois a espessura da camada de revestimento asfáltico é limitada e as camadas granulares são muito espessas. As principais consequências destas estruturas robustas são a elevada rigidez e alto percentual de área trincada.

Por outro lado, considerando o método do DNER-PRO 269/94, que tem como base para o dimensionamento a deflexão máxima admissível da estrutura quanto à fadiga, o mesmo também não se mostra adequado atualmente, especialmente em condições de tráfego elevado e solo de fundação com baixa capacidade de suporte. Resulta assim numa estrutura que não atingirá sua vida de projeto, ou seja, um fraco desempenho, apresentando trincas e deformações excessivas antes do final do período de projeto.

O Método MeDiNa, por utilizar modelos de previsão de danos durante a vida útil e verificar as camadas do pavimento quanto à deformação permanente e fadiga resulta em pavimentos mais funcionais e duráveis.

Dimensionar pelo método empírico-mecanicista MeDiNa nem sempre resulta em uma estrutura mais onerosa, pois no caso da rodovia SC-281 houve uma otimização da espessura da camada granular.

No Brasil, os ensaios exigidos pelo DNIT para os dimensionamentos vigentes são simplificados. O MeDiNa exige o profundo conhecimento de todos os materiais que compõe a estrutura, bem como seus módulos de resiliência e coeficientes da deformação permanente. Por fim, ressalta-se que para uma real comparação dos métodos seria necessário ensaiar todos os materiais que seriam utilizados na implantação da obra, principalmente o subleito, visto que impactam diretamente no desempenho e funcionalidade da estrutura.

A aplicação de métodos empírico-mecanicistas como o MeDiNa, necessitam de dados de ensaio dos componentes da estrutura do pavimento, relacionados com o desempenho do pavimento em campo. Assim, ressalta-se a urgência de estruturação dos laboratórios de campo, das universidades e das empresas construtoras e consultoras.

Para além da melhoria dos laboratórios, há necessidade também de aprofundamento do conhecimento de métodos empírico-mecanicistas e do entendimento e que dependem seus dados de entrada.

A implantação deste método no Brasil representa um avanço imenso na melhoria do desempenho dos pavimentos flexíveis do país.

5.2 Sugestão para trabalhos futuros

Para um próximo estudo sugere-se:

- Realizar os ensaios e expor suas limitações e dificuldades na obtenção dos dados;
- Utilizar dados reais no dimensionamento;
- Analisar a variação da capacidade de suporte do subleito no Método MeDiNa e o impacto financeiro.

6 REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 7182**: Solo - Ensaio de compactação. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 6296**: Produtos betuminosos semissólidos — Determinação da massa específica e densidade relativa. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2012_A.

_____. **NBR 14855**: Ligantes asfálticos - Determinação da solubilidade em tricloroetileno. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 15087**: Misturas asfálticas — Determinação da resistência à tração por compressão diametral. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2012_B.

_____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da Composição granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2003.

ASTM C 131, 2006. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. American Society for Testing and Materials. USA.

ASTM D 2042, 2009. Standard Test Method for Solubility of Asphalt Materials in Trichloroethylene. American Society for Testing and Materials. USA.

ASTM D 3203, 1994. Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Asphalt Mixtures. American Society for Testing and Materials. USA.

ASTM. C 127, 2007. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. American Society for Testing and Materials, USA.

AUSTROADS. **Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design**. Publicação AGPT02-17. Sidney, 283p, 2017.

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

BERNUCCI, Bariani *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2010.

BRANCO, Fernando *et al.* **Pavimentos Rodoviários**. Almedina. Coimbra, Portugal, 2006.

BRASIL. Tribunal de Contas da União (TCU). **Acórdão nº 328/2013**. Plenário. Processo nº TC-030.410/2012-6. Ata nº 6/2013. Brasília, DF, Sessão de 27 de fevereiro de 2013.

BRITO, LÉLIO A. T.; GRAEFF, ÂNGELA G. **Métodos de dimensionamento de pavimentos – metodologias e seus impactos nos projetos de pavimentos novos e restaurações**. Porto Alegre: Prime Engenharia e Consultoria Ltda., 2009.

CHIARELLO, Gabriéli Pires *et al.* **Avaliação estrutural e financeira de pavimento flexível dimensionado pelo método do DNER (1981) e MeDiNa (2019): Estudo de caso da duplicação da BR 287 - Trecho Santa Cruz do Sul à Tabai/RS**. In: 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, ANPET, 2019, Balneário Camboriú. Anais Eletrônicos. p. 1-12.

CNT, Confederação Nacional do Transporte. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília: CNT, 2017

COUTINHO, João Camilo Penna. **Dimensionamento de pavimento asfáltico: comparação do método DNER com um método mecanístico-empírico aplicada a um trecho**. Ouro Preto, Minas Gerais, 2011. 214 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia.

DNER. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, 1981.

DNER. **Projeto de restauração de pavimentos flexíveis - TECNAPAV**. Rio de Janeiro, 1994.

DNER, 1996. **Norma DNER - CLA 259**: Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.

DNIT, 2006. **Manual de Pavimentação**. Publicação IPR-720. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT, 2006_A. **Manual de Estudos de Tráfego**. Publicação IPR-723. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT, 2010. **Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas**. Publicação IPR-740. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2010.

DNIT-ME, 2018_A. **Norma DNIT - ME 135/2018**: Pavimentação Asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Rio de Janeiro, Brasil.

DNIT-ME, 2018_B. **Norma DNIT – ME 183/2018**: Pavimentação asfáltica - Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada – Método de ensaio. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Rio de Janeiro, Brasil.

DNIT-ME, 2018_C. **Norma DNIT – ME 184/2018**: Pavimentação - Misturas asfálticas - Ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência à deformação permanente – Método de ensaio. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Rio de Janeiro, Brasil.

DNIT-ME, 2018_D. **Norma DNIT – ME 134/2018**: Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Rio de Janeiro, Brasil.

DNIT-IE, 2018. – **Norma DNIT – IE 179/2018**: Pavimentação – Solos – Determinação da deformação permanente – Instrução de ensaio. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Rio de Janeiro, Brasil.

DNIT. **Quadro de fabricantes de veículos**. Ministério dos Transportes. Diretoria de Infraestrutura Rodoviária. 2012.

FERNANDES, Wagner Dambrós. **Análise comparativa entre os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis do Brasil e o método da AASHTO**. 2016. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

FERREIRA, Felipe de Almeida. **Análise do dimensionamento de pavimentos asfálticos utilizando o programa SisPavBR**. Graduação —Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

FONTES, Liseane Padilha Thives da Luz. **Optimização do desempenho de misturas betuminosas com betume modificado com borracha para reabilitação de pavimentos**. Tese (Doutorado) - Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Minho, 2009.

FRANCO, Filipe Augusto Cinque de Proença. **Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav**. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2007.

FRANCO, Filipe Augusto Cinque de Proença; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Execução de estudos e pesquisa para elaboração de método de análise mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos**: Manual para utilização do Método Mecanístico-Empírico MeDiNa: Apresentação dos programas. Rio de Janeiro: COPPE/IPR, 78p, 2020.

FRITZEN, Marcos Antonio. **Desenvolvimento e validação de função de transferência para previsão do dano por fadiga em pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro, 2016. 286p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

GUIMARÃES, Antônio Carlos Rodrigues. **Um Método Mecanístico Empírico para a Previsão da Deformação Permanente em Solos Tropicais Constituintes de Pavimentos**. Tese de Doutorado, Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

HAAS, Ralph *et al.* **Mechanistic-empirical pavement design: evolution and future challenges.** Annual Conference Transportation Association of Canada. Saskatoon, Canada, 2007.

LEHMERT, Mariele Barboza de Souza. **Análise comparativa de soluções entre os métodos brasileiros e o mepdg para reabilitação de pavimentos flexíveis – Estudo de caso.** 2020. 416 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

MACHADO, Thiago Fávero de Oliveira *et al.* Projeto de reforço para o pavimento flexível do anel viário da UFJF baseado no novo método de dimensionamento mecanístico-empírico nacional. **Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes**, Brasil, v. 28, n. 1, p. 1-13, 30 abr. 2020. Anual.

MONISMITH, Carl L. **Evolution of long-lasting Asphalt Pavement Design.** Methodology: A perspective. International Symposium on Design and Construction of Long Lasting Asphalt Pavements, Alabama, 77p, 2004.

MOTA, Rafael Vicente *et al.* **Efeito do tráfego no dimensionamento de pavimentos asfálticos utilizando dados de pedágio.** In: 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, ANPET, 2018, Gramado. Anais Eletrônicos. p. 1-12.

MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis: critério de confiabilidade e ensaio de cargas repetidas.** Rio de Janeiro, 1991. 366p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

NETO, Rogério Silveira Bezerra. **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).** São Carlos, 2004. 189 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São Carlos.

NORBACK, Carine; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Caracterização do módulo de resiliência e da deformação permanente de duas misturas solo-brita.** In: 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, ANPET, 2018, Gramado. Anais Eletrônicos. p. 1-12.

PELISSON, Nayara Donelli *et al.* **Avaliação de desempenho pelo MEPDG: o efeito da variação de espessuras de pavimentos flexíveis.** International Transport Planning Society. The Journal of Transport Literature, 5p, 2015.

PEREIRA, Paulo; PAIS, Jorge. **Main flexible pavement and mix design methods in Europe and challenges for the development of an European method.** ELSEVIER. ScienceDirect, 31p, 2017.

PINTO, Rodrigo Lemos. **Comparação entre o dimensionamento de reforço de pavimentos asfálticos pelo método mecanístico-empírico e os métodos dner-pro 11/79 e DNER-PRO 269/94 para um segmento homogêneo da BR-222/CE e análise de sensibilidade do programa SisPavBR.** 125 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

PITANGUI, Lara Cordeiro. **Análise comparativa do método do DNER com o método mecanístico-empírico MeDiNa.** 93 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

RODRIGUES, José Luís Azevedo. **Conceção de Pavimentos Rígidos.** 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

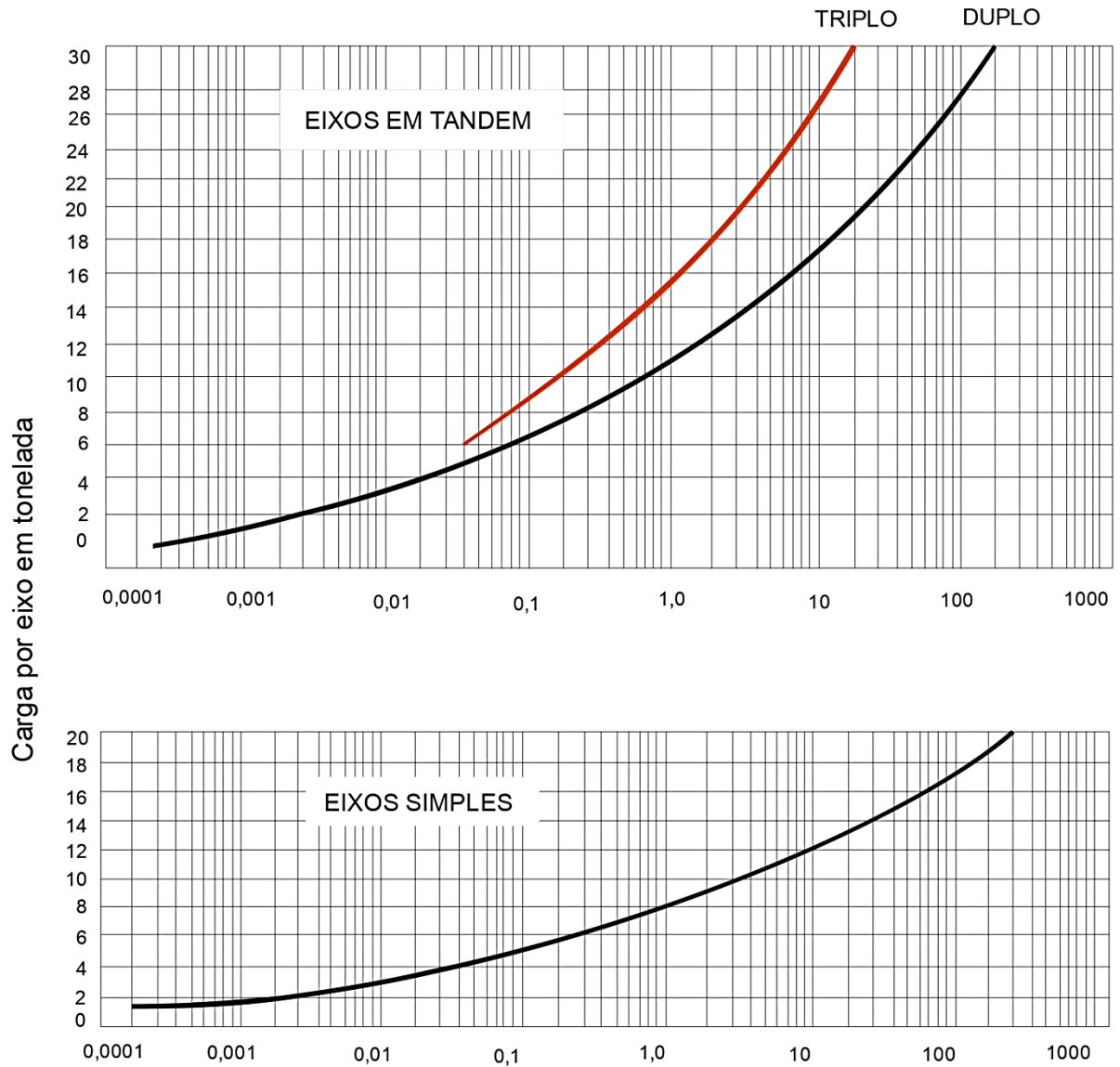
SAHA, Jhuma *et al.* **A Comparative Study between the Alberta Transportation Flexible Pavement Design and the MEPDG.** In: International Journal of Pavement Research and Technology, Alberta/Canada. Chinese Society of Pavement Engineering, 2012. p. 379-385.

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

TAVALLAEE, Bahareh; SANTOS, Luís Guilherme de Picado; NEVES, José Manuel Coelho das. **Aplicação do Método Empírico-mecanicista da AASHTO ao dimensionamento de pavimentos em Portugal.** Congresso Rodoviário Português, Portugal, 11p, 2016.

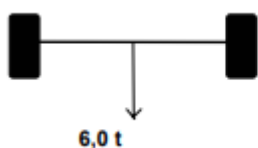
VENDRUSCULO, Jennifer Ilha *et al.* **Comparação entre pavimentos dimensionados com os métodos do DNER (1981) e MeDiNa (2018): Estudo de caso com solos de subleito da cidade de Santa Maria/RS.** In: 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, ANPET, 2018, Gramado. Anais Eletrônicos. p. 1-10.

ANEXO A – FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE OPERAÇÃO



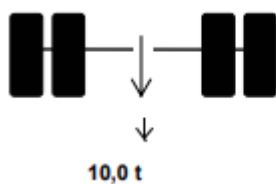
ANEXO B – REPRESENTAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE PESO POR EIXO

Eixo isolado, com 2 (dois) pneumáticos:



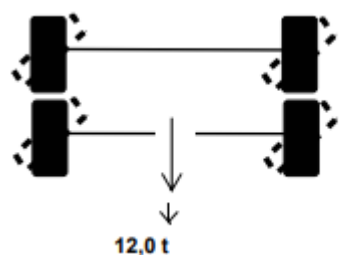
Resolução 210/06	6.000 kg
Resolução 104/99 (7,5%)	<u>450 kg</u>
TOTAL	6.450 kg

Eixo isolado com 4 (quatro) pneumáticos:



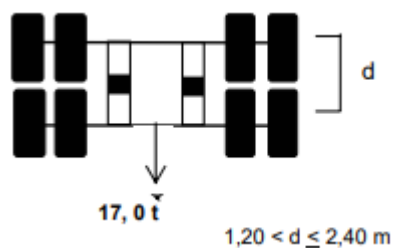
Resolução 210/06	10.000 kg
Resolução 104/99	<u>+ 750 kg</u>
TOTAL	10.750 kg

Conjunto de 2 (dois) eixos direcionais, com 2 (dois) pneumáticos cada:



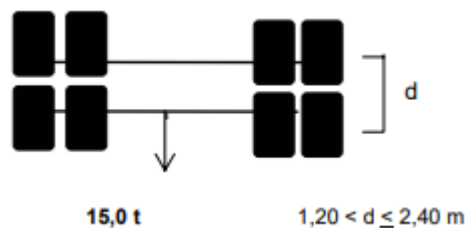
Resolução 210/06	12.000 kg
Resolução 104/99	<u>+900 kg</u>
TOTAL	12.900 kg

Conjunto de 2 (dois) eixos em tandem com 4 (quatro) pneumáticos por eixo:



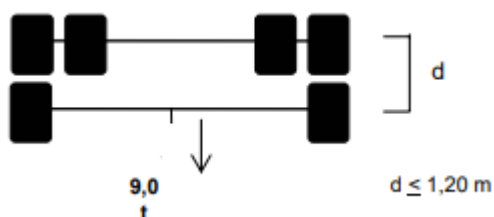
Resolução 210/06	17.000 kg
Resolução 104/99	<u>+1.280 kg</u>
TOTAL	18.280 kg

Conjunto de 2 (dois) eixos não em tandem com 4 (quatro) pneumáticos por eixo:



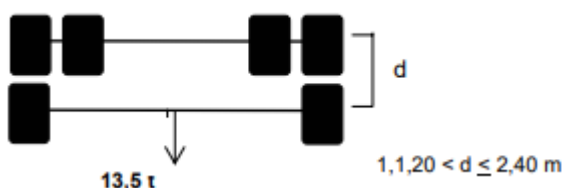
Resolução 210/06	15.000 kg
Resolução 104/99	<u>+1.130 kg</u>
TOTAL	16.130 kg

Conjunto de 2 (dois) eixos sendo um com 2 (dois) pneumáticos, e outro com 4 (quatro) pneumáticos, com suspensão especial:



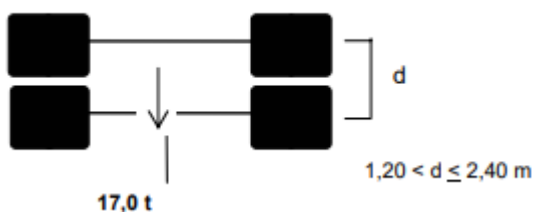
Resolução 210/06	9.000 kg
Resolução 104/99	+ 680 kg
TOTAL	9.680 kg

Conjunto de 2 (dois) eixos sendo um com 2 (dois) pneumáticos, e outro com 4 (quatro) pneumáticos, com suspensão especial:



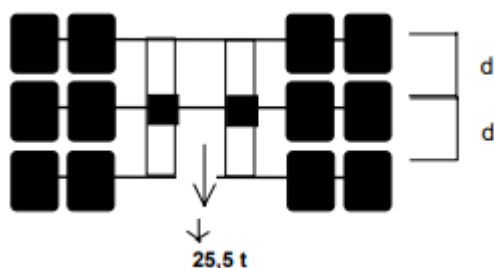
Resolução 210/06	13.500 kg
Resolução 104/99	+ 1.020 kg
TOTAL	14.520 kg

Conjunto de 2 (dois) eixos em tandem e suspensão pneumática com 2 (dois) pneumáticos extralargos em cada eixo:



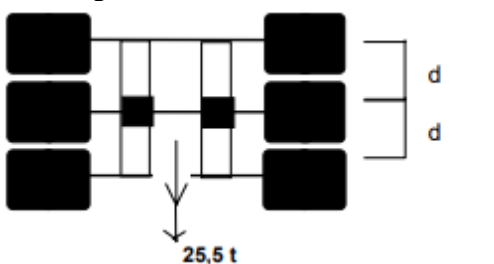
Resolução 210/06	17.000 kg
Resolução 104/99	+ 1.280 kg
TOTAL	18.280 kg

Conjunto de 3 (três) eixos em tandem, com 4 (quatro) pneumáticos por eixo:



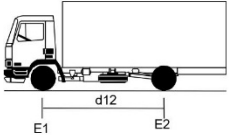
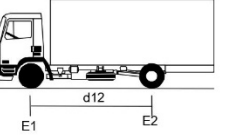
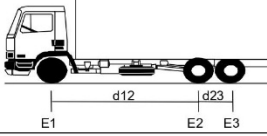
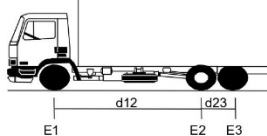
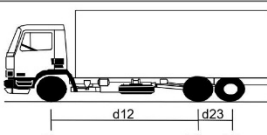
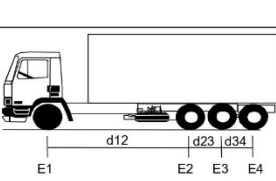
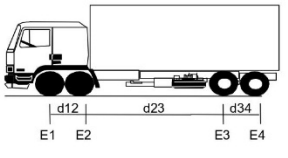
Resolução 12/98	25.500 kg
Resolução 104/99	+ 1.920 kg
TOTAL	27.420 kg

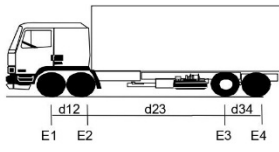
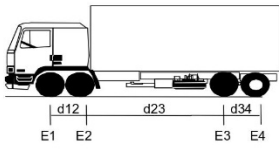
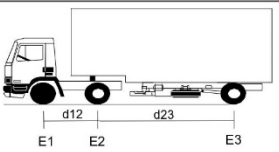
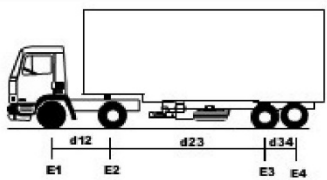
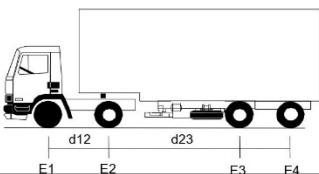
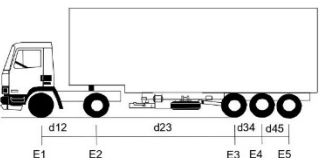
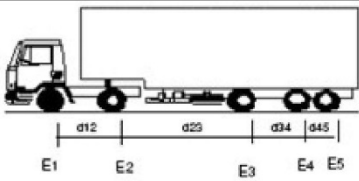
Conjunto de 3 (três) eixos em tandem e suspensão pneumática, com 2 (dois) pneumáticos extralargos em cada eixo:

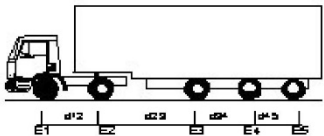
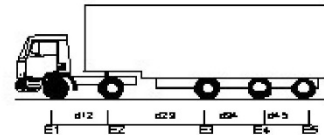
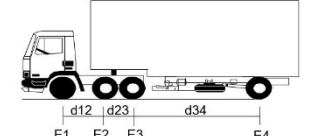
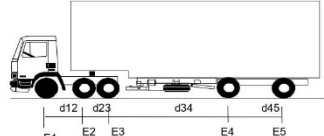
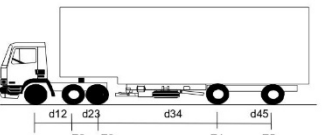
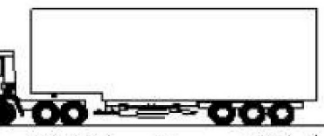


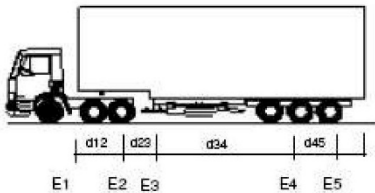
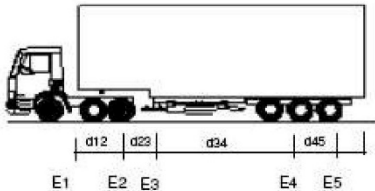
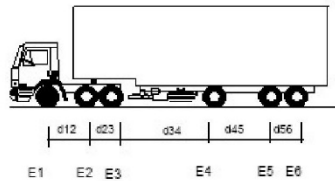
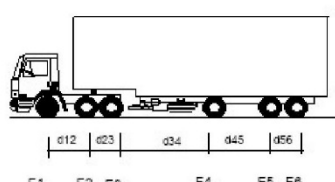
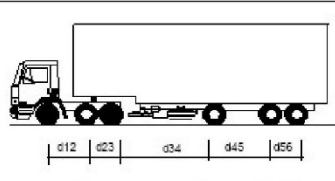
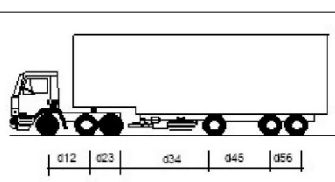
Resolução 12/98	25.500 kg
Resolução 104/99	+ 1.920 kg
TOTAL	27.420 kg

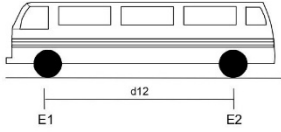

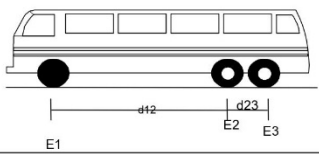
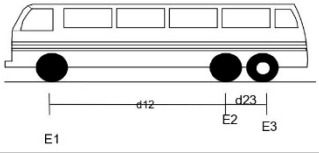
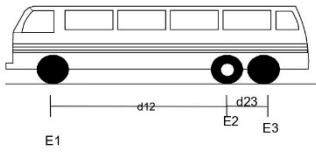
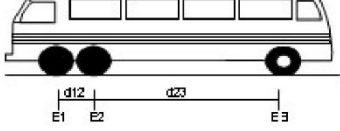
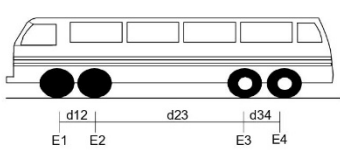
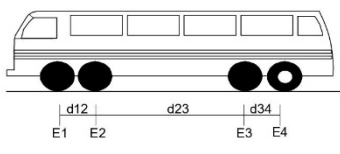
ANEXO C – CLASSIFICAÇÃO DE VEÍCULOS

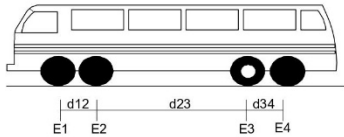
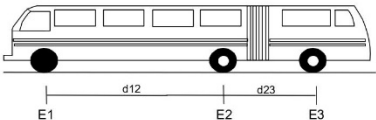
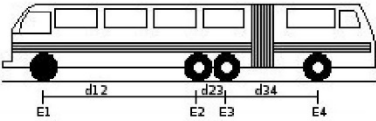
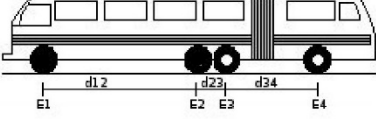
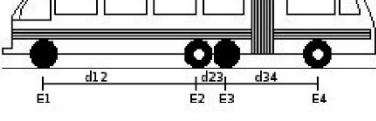
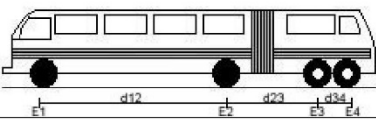
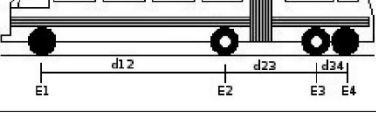
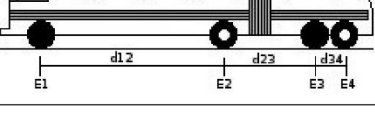
SILHUETA	GRUPO/ Nº EIXOS	PBT ou PBTC / (5%)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
	2 / 2	12 / (12,6)	CAMINHÃO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. $d12 \leq 3,50$ m	2CC	120
	2 / 2	16 / (16,8)	CAMINHÃO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d12 > 3,50$ m	2C	65
	2 / 3	23 / (24,15)	CAMINHÃO TRUCADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. $d12 > 2,40$ m $1,20 < d23 \leq 2,40$ m	3C	67
	2 / 3	19,5 / (20,475)	CAMINHÃO TRUCADO COM EIXO TRASEIRO MISTO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. $d12 > 2,40$ m $1,20 < d23 \leq 2,40$ m	3CD	103
	2 / 3	19,5 / (20,475)	CAMINHÃO TRUCADO COM EIXO TRASEIRO MISTO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. $d12 > 2,40$ m $1,20 < d23 \leq 2,40$ m	3DC	121
	2 / 4	31,5 / (33,075)	CAMINHÃO SIMPLES E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3E4 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. $d12 > 2,40$ m $1,20 < d23, d34 \leq 2,40$ m	4C	69
	2 / 4	29 / (30,45)	CAMINHÃO DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais; carga máxima 12 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. $d23 > 2,40$ m $1,20 < d12, d34 \leq 2,40$ m	4CD	70

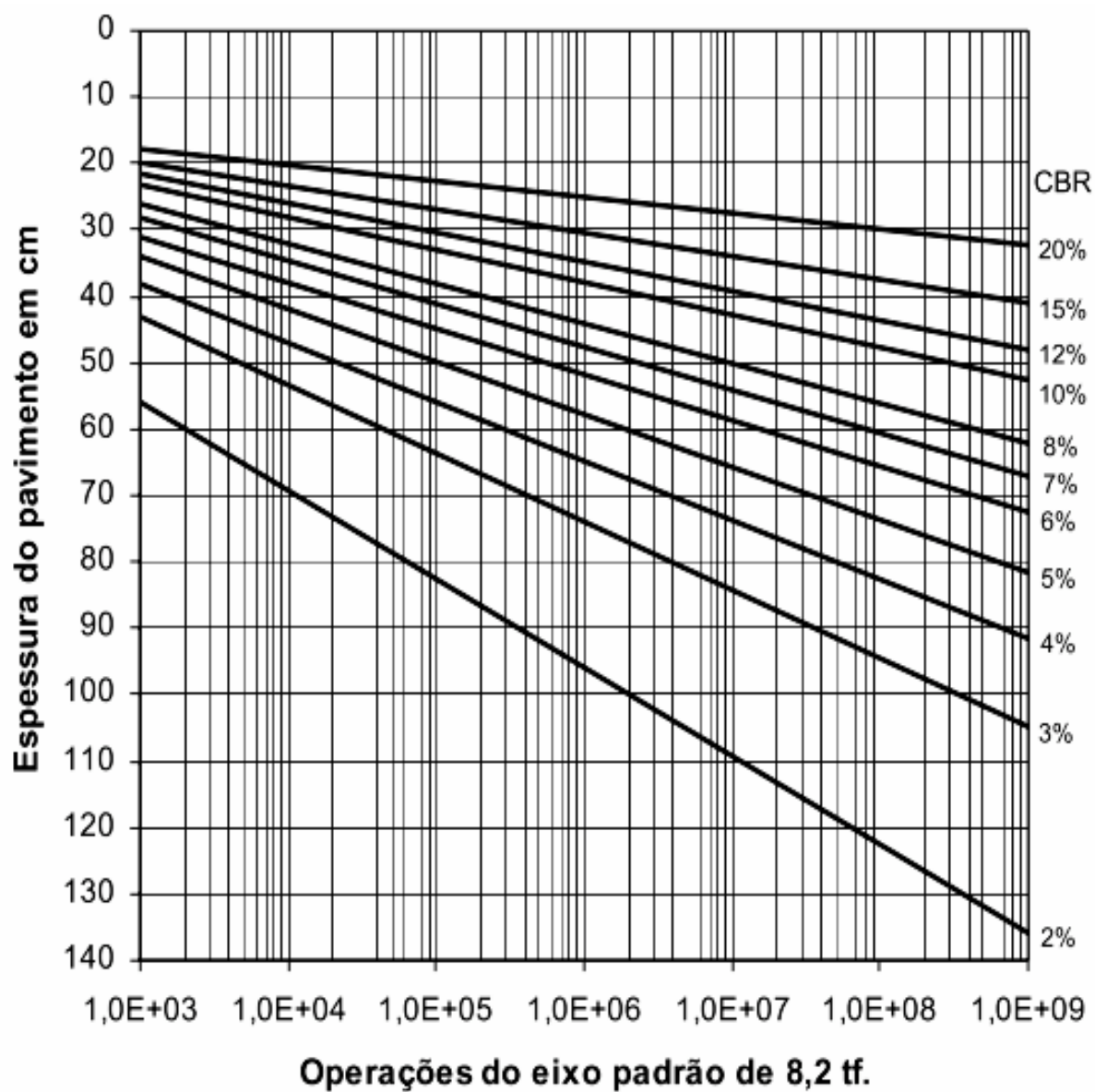
SILHUETA	GRUPO/ Nº EIXOS	PBT ou PBTC / (5%)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
	2 / 4	25,5 / (26,775)	CAMINHÃO DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais; carga máxima 12 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. d23 > 2,40 m 1,20 m < d12, d34 ≤ 2,40 m	4DD	122
	2 / 4	25,5 / (26,775)	CAMINHÃO DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais; carga máxima 12 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. d23 > 2,40 m 1,20 m < d12, d34 ≤ 2,40 m	4DC	123
	3 / 3	26 / (27,3)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d23 > 2,40 m	2S1	68
	3 / 4	33 / (34,65)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d23 > 2,40 m 1,20 m < d34 ≤ 2,40 m	2S2	71
	4 / 4	36 / (37,8)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d23, d34 > 2,40 m	2I2	80
	3 / 5	41,5 / (43,575)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3E4E5 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. d12, d23 > 2,40 m 1,20 m < d34, d45 < 2,40 m	2S3	74
	4 / 5	43 / (45,15)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d23, d34 > 2,40 m 1,20 m < d45 ≤ 2,40 m	2I1	84

SILHUETA	GRUPO/ Nº EIXOS	PBT ou PBTC / (5%)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
	5 / 5	45 / (47,25) Res. Contran 210/06 Caso tenha comprimento total inferior a 16m	CAMINHÃO TRATOR + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d23, d34, d45 > 2,40 m	213	82
	5 / 5	46 / (48,30) Res. Contran 210/06 Caso tenha comprimento total igual ou superior a 16m (Comp. Máx. = 18,60m).	CAMINHÃO TRATOR + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d23, d34, d45 > 2,40 m	213	82
	3 / 4	33 / (34,65)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d34 > 2,40 m 1,20 m < d23 ≤ 2,40 m	3S1	72
	4 / 5	43 (45,15)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d34, d45 > 2,40 m 1,20 m < d23 < 2,40 m	312	81
	4 / 5	39,5 (41,475)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d34, d45 > 2,40 m 1,20 m < d23 < 2,40 m	3D2	124
	3 / 6	45 / (47,25) Res. Contran 210/06. Caso tenha comprimento total inferior a 16m	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO+ SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5E6 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. d12, d34 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d56 < 2,40 m	3S3	78

SILHUETA	GRUPO/ Nº EIXOS	PBT ou PBTC / (5%)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
	3 / 6	48,5 / (50,925) Res. Contran 210/06 Caso tenha comprimento total igual ou superior a 16m (comp. Máx. = 18,60m)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO+ SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5E6 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. d12, d34 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d56 ≤ 2,40 m	3S3	78
	3 / 6	45 / (47,25)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO+ SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. E4E5E6 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. d12, d34 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d56 ≤ 2,40 m	3D3	125
	4 / 6	45 / (47,25) Res. Contran 210/06. Caso tenha comprimento total inferior a 16m	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5E6 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d45, > 2,40 m 1,20 m < d23, d56 ≤ 2,40 m	3I1	85
	4 / 6	50 / (52,5) Res. Contran 210/06. Caso tenha comprimento total igual ou superior a 16m (comp. Máx. = 18,60m)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5E6 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d45, > 2,40 m 1,20 m < d23, d56 ≤ 2,40 m	3I1	85
	4 / 6	45 / (47,25) Res. Contran 210/06. Caso tenha comprimento total inferior a 16m	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton.. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5E6 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d45, > 2,40 m 1,20 m < d23, d56 ≤ 2,40 m	3DI	126
	4 / 6	46,5 / (48,825) Res. Contran 210/06. Caso tenha comprimento total igual ou superior a 16m (comp. Máx. = 18,60m)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5E6 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d45, > 2,40 m 1,20 m < d23, d56 ≤ 2,40 m	3DI	126

SILHUETA	GRUPO/ Nº EIXOS	PBT ou PBTC / (5%)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
	2 / 2	12 / (12,6)	ÔNIBUS E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. $d_{12} \leq 3,50$ m	2BC	152
	2 / 2	16 / (16,8)	ÔNIBUS E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d_{12} > 3,50$ m	2CB	153
	2 / 3	23 / (24,15)	ÔNIBUS TRUCADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. $d_{12} > 2,40$ m $1,20 < d_{23} \leq 2,40$ m	3BC	154
	2 / 3	19,5 / (20,475)	ÔNIBUS TRUCADO MISTO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. $d_{12} > 2,40$ m $1,20 < d_{23} \leq 2,40$ m	3CB	87
	2 / 3	19,5 / (20,475)	ÔNIBUS TRUCADO MISTO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. $d_{12} > 2,40$ m $1,20 < d_{23} \leq 2,40$ m	3BB	155
	2 / 3	22 / (23,1)	ÔNIBUS DUPLO DIRECIONAL E1E2 = conjunto de eixos direcionais; carga máxima 12 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d_{23} > 2,40$ m $1,20$ m < $d_{12} \leq 2,40$	3DB	156
	2 / 4	29 / (30,45)	ÔNIBUS DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais; carga máxima 12 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. $d_{23} > 2,40$ m $1,20$ m < d_{12} , $d_{34} \leq 2,40$	4DB	157
	2 / 4	25,5 / (26,775)	ÔNIBUS DUPLO DIRECIONAL MISTO E1E2 = conjunto de eixos direcionais; carga máxima 12 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. $d_{23} > 2,40$ m $1,20$ m < d_{12} , $d_{34} \leq 2,40$	4CB	86

SILHUETA	GRUPO/ Nº EIXOS	PBT ou PBTC / (5%)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
	2 / 4	25,5 / (26,775)	ÔNIBUS DUPLO DIRECIONAL MISTO E1E2 = conjunto de eixos direcionais; carga máxima 12 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. $d23 > 2,40$ m $1,20 \text{ m} < d12, d34 \leq 2,40$	4BD	158
	3 / 3	26 / (27,3)	ÔNIBUS URBANO ARTICULADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d12, d23 > 2,40$ m.	2B1	159
	3 / 4	33 / (34,65)	ÔNIBUS URBANO ARTICULADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d12, d34 > 2,40$ m. $1,20 \text{ m} < d23 \leq 2,40$	3B1	160
	3 / 4	29,5 / (30,975)	ÔNIBUS URBANO ARTICULADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d12, d34 > 2,40$ m. $1,20 \text{ m} < d23 \leq 2,40$	3BD	161
	3 / 4	29,5 / (30,975)	ÔNIBUS URBANO ARTICULADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d12, d34 > 2,40$ m. $1,20 \text{ m} < d23 \leq 2,40$	31B	162
	3 / 4	29 / (30,45)	ÔNIBUS URBANO ARTICULADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. $d12, d23 > 2,40$ m. $1,20 \text{ m} < d34 \leq 2,40$	2B2	163
	3 / 4	29,5 / (30,975)	ÔNIBUS URBANO ARTICULADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. $d12, d23 > 2,40$ m. $1,20 \text{ m} < d34 \leq 2,40$	2BD	164
	3 / 4	29,5 / (30,975)	ÔNIBUS URBANO ARTICULADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. $d12, d23 > 2,40$ m. $1,20 \text{ m} < d34 \leq 2,40$	2DB	165

ANEXO D – ÁBACO PARA OBTER A ESPESSURA DO PAVIMENTO (DNER)

ANEXO E – VOLUME MÉDIO DIÁRIO ANUAL DE TRÁFEGO – BR-280/LOTE 22

VOLUME MÉDIO DIÁRIO ANUAL DE TRÁFEGO - VMDAT - LOTE 22																		
ANO	VEÍCULOS LEVES		COLETIVOS (2CB)	CONFIGURAÇÃO DE EIXOS DOS VEÍCULOS DE CARGA												TOTAL	OBSERVAÇÃO	
	MOTO	PASSEIO + UTILITÁRIO		2C	3C	2S1	4C	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3			Bitrem (3D4)
2007	1436	11840	386	2101	2011	123	113	125	924	294	397	19	13	5	13	129	19929	Ano da Contagem
2008	1479	12195	398	2164	2071	127	116	129	952	303	409	20	13	5	13	133	20527	
2009	1523	12561	410	2229	2133	131	119	133	981	312	421	21	13	5	13	137	21142	
2010	1569	12938	422	2296	2197	135	123	137	1010	321	434	22	13	5	13	141	21776	Projeto
2011	1616	13326	435	2365	2263	139	127	141	1040	331	447	23	13	5	13	145	22429	
2012	1664	13726	448	2436	2331	143	131	145	1071	341	460	24	13	5	13	149	23100	
2013	1714	14138	461	2509	2401	147	135	149	1103	351	474	25	13	5	13	153	23791	Licitação / Obra
2014	1765	14562	475	2584	2473	151	139	153	1136	362	488	26	13	5	13	158	24503	
2015	1818	14999	489	2662	2547	156	143	158	1170	373	503	27	13	5	13	163	25239	Obra
2016	1873	15449	504	2742	2623	161	147	163	1205	384	518	28	13	5	13	168	25996	
2017	1929	15912	519	2824	2702	166	151	168	1241	396	534	29	13	5	13	173	26775	1º - Abertura
2018	1987	16389	535	2909	2783	171	156	173	1278	408	550	30	13	5	13	178	27578	2º ano
2019	2047	16881	551	2996	2866	176	161	178	1316	420	567	31	13	5	13	183	28404	3º ano
2020	2108	17387	568	3086	2952	181	166	183	1355	433	584	32	13	5	13	188	29254	4º ano
2021	2171	17909	585	3179	3041	186	171	188	1396	446	602	33	13	5	13	194	30132	5º ano
2022	2236	18446	603	3274	3132	192	176	194	1438	459	620	34	13	5	13	200	31035	6º ano
2023	2303	18999	621	3372	3226	198	181	200	1481	473	639	35	13	5	13	206	31965	7º ano
2024	2372	19569	640	3473	3323	204	186	206	1525	487	658	36	13	5	13	212	32922	8º ano
2025	2443	20156	659	3577	3423	210	192	212	1571	502	678	37	13	5	13	218	33909	9º ano
2026	2516	20761	679	3684	3526	216	198	218	1618	517	698	38	13	5	13	225	34925	10º ano

Fonte: Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia (2012)

ANEXO F – VOLUME MÉDIO DIÁRIO ANUAL DE TRÁFEGO - SC-281

ANO	VEÍCULOS LEVES			ÔNIBUS			CAMINHÃO SIMPLES			SEMIRREBOQUE				REBOQUE			TOTAL	OBSERVAÇÃO	
	M	VP	i (%)	2C	3CB	i (%)	2C	3C	i (%)	2S2	3D4	3D5	3T6	i (%)	2C3	3C3			i (%)
2022	223	1.096	1,50	8	1	1,80	64	43	4,40	7	0	0	0	4,50	1	1	4,50	1.445	1º Ano de Projeto
2023	238	1.158	1,50	8	1	1,80	70	47	4,40	8	0	0	0	4,50	1	1	4,50	1.532	2º Ano de Projeto
2024	254	1.219	1,50	8	1	1,80	76	51	4,40	8	0	0	0	4,50	1	1	4,50	1.619	3º Ano de Projeto
2025	258	1.238	1,50	8	1	1,80	79	53	4,40	8	0	0	0	4,50	1	1	4,50	1.648	4º Ano de Projeto
2026	262	1.256	1,50	8	1	1,80	82	55	4,40	9	0	0	0	4,50	1	1	4,50	1.677	5º Ano de Projeto
2027	266	1.275	1,50	8	1	1,80	86	58	4,40	9	0	0	0	4,50	2	2	4,50	1.706	6º Ano de Projeto
2028	270	1.294	1,50	8	1	1,80	90	60	4,40	9	0	0	0	4,50	2	2	4,50	1.736	7º Ano de Projeto
2029	274	1.313	1,50	9	1	1,80	94	63	4,40	10	0	0	0	4,50	2	2	4,50	1.767	8º Ano de Projeto
2030	278	1.333	1,50	9	1	1,80	98	66	4,40	10	0	0	0	4,50	2	2	4,50	1.799	9º Ano de Projeto
2031	282	1.353	1,50	9	1	1,80	102	69	4,40	11	0	0	0	4,50	2	2	4,50	1.831	10º Final
2032	286	1.373	1,50	9	1	1,80	107	72	4,40	11	0	0	0	4,50	2	2	4,50	1.864	11º Ano de Projeto
2033	290	1.394	1,50	9	1	1,80	111	75	4,40	12	0	0	0	4,50	2	2	4,50	1.897	12º Ano de Projeto
2034	295	1.415	1,50	9	1	1,80	116	78	4,40	12	0	0	0	4,50	2	2	4,50	1.932	13º Ano de Projeto
2035	299	1.436	1,50	10	1	1,80	121	82	4,40	13	0	0	0	4,50	2	2	4,50	1.967	14º Ano de Projeto
2036	304	1.458	1,50	10	1	1,80	127	85	4,40	13	0	0	0	4,50	2	2	4,50	2.003	15º Ano de Projeto
2037	308	1.480	1,50	10	1	1,80	132	89	4,40	14	0	0	0	4,50	2	2	4,50	2.039	16º Ano de Projeto
2038	313	1.502	1,50	10	1	1,80	138	93	4,40	15	0	0	0	4,50	3	3	4,50	2.077	17º Ano de Projeto
2039	318	1.524	1,50	10	1	1,80	144	97	4,40	15	0	0	0	4,50	3	3	4,50	2.116	18º Ano de Projeto
2040	322	1.547	1,50	10	2	1,80	151	101	4,40	16	0	0	0	4,50	3	3	4,50	2.155	19º Ano de Projeto
2041	327	1.570	1,50	11	2	1,80	157	106	4,40	17	0	0	0	4,50	3	3	4,50	2.195	20º Ano de Projeto

M⁽¹⁾ – Moto; VP⁽²⁾ – Veículo de passeio; i⁽³⁾ – Taxa de crescimento geométrico médio anual.

Fonte: Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia (2019)

APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTOS REALIZADOS NO SOFTWARE

MEDINA

Programa MeDiNa v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Cópia registrada para Barbara (costa.barbararibeiro@gmail.com), da empresa UFSC..

Análise do pavimento

Empresa: **UFSC**

Nome do Projeto: **ESTRUTURA 01 - BR-280/SC - LOTE 22 - ANÁLISE MÉTODO DNIT (1981)**

Responsável pelo projeto: **Bárbara Ribeiro Costa**

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

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **25/04/2021 às 23:49:06** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **99,0%**.

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **9,2mm**

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 BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	6,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	6,5	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
3	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C5	15,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
4	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C6	28,0	Resiliente Linear MR = 278 MPa	0,35

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
5	SUBLEITO BR 280	SL	Resiliente Não Linear MR = 176 MPa (1º mês) k1 = 51,80 k2 = 0,360 k3 = -0,790 k4 = 0,000	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22 Aditivo Modificador = Borracha Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Resistência à tração (MPa) = 1,0 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT Norma ou Especificação = -	Ensaio de Fadiga -Modelo: k1 .(et ^ k2) -Coeficiente de Regressão (k1): ≥ 4,0e-12 -Coeficiente de Regressão (k2): ≥ -3,654 -Classe de Fadiga: ≥ 2 -FFM (100μ a 250μ): ≥ 0,99 Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 750 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 2000 ciclos

2 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22 Aditivo Modificador = Borracha Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Resistência à tração (MPa) = 1,0 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT Norma ou Especificação = -	Ensaio de Fadiga -Modelo: k1 .(et ^ k2) -Coeficiente de Regressão (k1): ≥ 4,0e-12 -Coeficiente de Regressão (k2): ≥ -3,654 -Classe de Fadiga: ≥ 2 -FFM (100μ a 250μ): ≥ 0,99 Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 750 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 2000 ciclos

3 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C5

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada Massa específica (g/cm ³) = 2,223 Umidade Ótima (%) = 5,0 Energia Compactação = Modificada Abrasão Los Angeles (%) = 43,0 Norma ou Especificação = DNIT ES 141	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: Brita Graduada - Gnaisse C6

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada	Ensaio de Deformação Permanente
Massa específica (g/cm ³) = 2,025	Modelo: ep = psi1.(s3^psi2).(sd^psi3).(N^psi4)
Umidade Ótima (%) = 7,5	Coefficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,1294
Energia Compactação = Modificada	Coefficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,0647
Abrasão Los Angeles (%) = 43,0	Coefficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,100
Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Coefficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0735

5 - SUBLEITO: BR 280

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Solo NORBACK e MOTTA (2018)	Ensaio de Deformação Permanente
Grupo MCT = NA'	Modelo: ep = psi1.(s3^psi2).(sd^psi3).(N^psi4)
MCT - Coeficiente c' = 0,80	Coefficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,57
MCT - Índice e' = 1,57	Coefficiente de Regressão (k2 ou psi2): 0,71
Massa específica (g/cm ³) = 1,848	Coefficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,27
Umidade Ótima (%) = 12,8	Coefficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,05
Energia Compactação = Intermediária	
Norma ou Especificação = DNIT ES 137	

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **8934**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **14,12**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **4,60e+07**

% Veículos na faixa de projeto: **45%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,07e+07**

Taxa de crescimento do tráfego: **3,0%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **2,37e+08**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo Simples	6%	5,80	0,243	0,014
2	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,347
3	Eixo Simples	32%	5,80	0,243	0,077
4	Eixo simples de roda dupla	32%	11,00	5,970	1,887
5	Eixo Simples	30%	5,45	0,189	0,057
6	Dois eixos duplos em tandem	30%	18,70	14,418	4,361
7	Eixo Simples	2%	5,30	0,169	0,003
8	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,111
9	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,111
10	Eixo Simples	2%	5,03	0,137	0,002

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
11	Três eixos duplos em tandem	2%	28,05	15,827	0,268
12	Eixo Simples	2%	4,95	0,128	0,002
13	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,112
14	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,271
15	Eixo Simples	14%	4,53	0,090	0,012
16	Eixo simples de roda dupla	14%	11,00	5,970	0,829
17	Três eixos duplos em tandem	14%	28,05	15,827	2,199
18	Eixo Simples	4%	4,60	0,096	0,004
19	Dois eixos duplos em tandem	4%	18,70	14,418	0,639
20	Dois eixos duplos em tandem	4%	18,70	14,418	0,639
21	Eixo Simples	6%	3,87	0,048	0,003
22	Dois eixos duplos em tandem	6%	17,35	9,560	0,571
23	Três eixos duplos em tandem	6%	26,03	10,431	0,623
24	Eixo Simples	0%	4,80	0,113	0,000
25	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
26	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
27	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
28	Eixo Simples	0%	4,45	0,084	0,000
29	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,009
30	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,009
31	Dois eixos duplos em tandem	0%	18,70	14,418	0,021
32	Eixo Simples	0%	4,45	0,084	0,000
33	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,003
34	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,003
35	Dois eixos duplos em tandem	0%	18,70	14,418	0,008
36	Eixo Simples	0%	3,69	0,039	0,000
37	Eixo simples de roda dupla	0%	9,90	3,089	0,004
38	Dois eixos duplos em tandem	0%	16,83	8,090	0,012
39	Dois eixos duplos em tandem	0%	16,83	8,090	0,012
40	Eixo Simples	2%	3,75	0,042	0,001
41	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279
42	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279
43	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	1,703e+06	7,57%	6,6
6	1,028e+07	45,78%	7,5

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
12	2,072e+07	99,00%	7,8
18	3,131e+07	99,00%	8,0
24	4,206e+07	99,00%	8,2
30	5,296e+07	99,00%	8,3
36	6,403e+07	99,00%	8,4
42	7,527e+07	99,00%	8,5
48	8,667e+07	99,00%	8,6
54	9,824e+07	99,00%	8,7
60	1,100e+08	99,00%	8,7
66	1,219e+08	99,00%	8,8
72	1,340e+08	99,00%	8,9
78	1,463e+08	99,00%	8,9
84	1,587e+08	99,00%	9,0
90	1,714e+08	99,00%	9,0
96	1,842e+08	99,00%	9,0
102	1,972e+08	99,00%	9,1
108	2,105e+08	99,00%	9,1
114	2,239e+08	99,00%	9,2
120	2,375e+08	99,00%	9,2

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
3	MATERIAL GRANULAR	2,22
4	MATERIAL GRANULAR	2,13
5	SUBLEITO	4,85
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		9,2

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 BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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
-------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

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	35	30	26	20	16	10	8	6	6
FWD									
Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	37	30	25	18	13	8	5	4	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	40	32	23	18	12	9	8	7

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C5

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	57	42	33	25	19	13	10	9	7

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C6

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	58	44	36	27	21	14	11	10	8

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - BR 280

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	108	67	49	34	26	19	15	13	11

Programa MeDiNa v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Cópia registrada para Barbara (costa.barbararibeiro@gmail.com), da empresa UFSC..

Análise do pavimento

Empresa: **UFSC**

Nome do Projeto: **ESTRUTURA 02 - SC-281 - ANÁLISE MÉTODO DNER (1981)**

Responsável pelo projeto: **Bárbara Ribeiro Costa**

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

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **25/04/2021 às 23:58:01** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **21,6%**

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **7,4mm**

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento da estrutura do pavimento!

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 BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	5,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C5	17,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
3	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C6	15,0	Resiliente Linear MR = 278 MPa	0,35
4	SUBLEITO SC 281	SL	Resiliente Não Linear MR = 270 MPa (1º mês) k1 = 135,20 k2 = 0,260 k3 = -0,650 k4 = 0,000	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22	Ensaio de Fadiga
Aditivo Modificador = Borracha	-Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$
Massa específica (g/cm ³) = 2,4	-Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 4,0e-12$
Resistência à tração (MPa) = 1,0	-Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,654$
Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT	-Classe de Fadiga: ≥ 2
Norma ou Especificação = -	-FFM (100μ a 250μ): $\geq 0,99$
	Flow Number Mínimo
	- Condição de Tráfego Normal: ≥ 168 ciclos
	- Condição de Tráfego Severa: ≥ 468 ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaise C5

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada	Ensaio de Deformação Permanente
Massa específica (g/cm ³) = 2,223	Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
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 (%) = 43,0	Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,8929
Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0961

3 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaise C6

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada	Ensaio de Deformação Permanente
Massa específica (g/cm ³) = 2,025	Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
Umidade Ótima (%) = 7,5	Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,1294
Energia Compactação = Modificada	Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,0647
Abrasão Los Angeles (%) = 43,0	Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,100
Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0735

4 - SUBLEITO: SC 281

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Solo NORBACK e MOTTA (2018)	Ensaio de Deformação Permanente
Grupo MCT = NG'	Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
MCT - Coeficiente $c' = 1,67$	Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,39
MCT - Índice $e' = 1,29$	Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): 0,84
Massa específica (g/cm ³) = 1,683	Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,54
Umidade Ótima (%) = 19,5	Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,06
Energia Compactação = Intermediária	
Norma ou Especificação = DNIT ES 137	

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **125**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **10,15**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **4,63e+05**

% Veículos na faixa de projeto: **50%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,32e+05**

Taxa de crescimento do tráfego: **5,8%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **3,02e+06**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo Simples	6%	5,80	0,243	0,016
2	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,382
3	Eixo Simples	51%	5,80	0,243	0,124
4	Eixo simples de roda dupla	51%	11,00	5,970	3,057
5	Eixo Simples	34%	5,45	0,189	0,065
6	Dois eixos duplos em tandem	34%	18,70	14,418	4,960
7	Eixo Simples	6%	4,95	0,128	0,007
8	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,334
9	Dois eixos duplos em tandem	6%	18,70	14,418	0,807
10	Eixo Simples	1%	4,45	0,084	0,001
11	Eixo simples de roda dupla	1%	11,00	5,970	0,048
12	Eixo simples de roda dupla	1%	11,00	5,970	0,048
13	Dois eixos duplos em tandem	1%	18,70	14,418	0,115
14	Eixo Simples	1%	3,69	0,039	0,000
15	Eixo simples de roda dupla	1%	9,90	3,089	0,025
16	Dois eixos duplos em tandem	1%	16,83	8,090	0,065
17	Dois eixos duplos em tandem	1%	16,83	8,090	0,065
18	Eixo Simples	1%	5,63	0,215	0,002
19	Dois eixos duplos em tandem	1%	14,85	4,073	0,033

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	1,881e+04	1,55%	5,0
6	1,142e+05	2,93%	5,8
12	2,316e+05	3,88%	6,1
18	3,524e+05	4,66%	6,3
24	4,767e+05	5,37%	6,4
30	6,045e+05	6,06%	6,5
36	7,360e+05	6,76%	6,6
42	8,712e+05	7,46%	6,7
48	1,010e+06	8,19%	6,8
54	1,153e+06	8,96%	6,8
60	1,301e+06	9,76%	6,9
66	1,452e+06	10,61%	7,0
72	1,608e+06	11,52%	7,0
78	1,768e+06	12,48%	7,1
84	1,933e+06	13,52%	7,1

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
90	2,102e+06	14,63%	7,2
96	2,276e+06	15,82%	7,2
102	2,456e+06	17,10%	7,2
108	2,640e+06	18,48%	7,3
114	2,830e+06	19,96%	7,3
120	3,025e+06	21,55%	7,4

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	2,45
3	MATERIAL GRANULAR	1,76
4	SUBLEITO	3,14
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		7,4

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 BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	39	25	18	12	9	6	5	4	4
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	53	31	20	12	8	5	3	3	2

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C5

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	39	25	18	12	9	6	5	4	4

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C6

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
-------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

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	41	25	18	13	10	8	6	5	4

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - SC 281

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	40	25	18	13	10	7	6	5	4

Programa MeDiNa v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Cópia registrada para Barbara (costa.barbararibeiro@gmail.com), da empresa UFSC..

Análise do pavimento

Empresa: **UFSC**

Nome do Projeto: **ESTRUTURA 03 - SC-281 - ANÁLISE MÉTODO DNER (1981)**

Responsável pelo projeto: **Bárbara Ribeiro Costa**

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

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **26/04/2021 às 00:00:52** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **18,9%**

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **6,2mm**

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento da estrutura do pavimento!

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 BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	5,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C5	22,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
3	SUBLEITO SC 281	SL	Resiliente Não Linear MR = 264 MPa (1º mês) k1 = 135,20 k2 = 0,260 k3 = -0,650 k4 = 0,000	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades

Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22
 Aditivo Modificador = Borracha
 Massa específica (g/cm³) = 2,4
 Resistência à tração (MPa) = 1,0
 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT
 Norma ou Especificação = -

Modelos

Ensaio de Fadiga
 -Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$
 -Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 4,0e-12$
 -Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,654$
 -Classe de Fadiga: ≥ 2
 -FFM (100 μ a 250 μ): $\geq 0,99$
 Flow Number Mínimo
 - Condição de Tráfego Normal: ≥ 168 ciclos
 - Condição de Tráfego Severa: ≥ 468 ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C5**Propriedades**

Descrição do Material = Brita Graduada
 Massa específica (g/cm³) = 2,223
 Umidade Ótima (%) = 5,0
 Energia Compactação = Modificada
 Abrasão Los Angeles (%) = 43,0
 Norma ou Especificação = DNIT ES 141

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
 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 - SUBLEITO: SC 281**Propriedades**

Descrição do Material = Solo NORBACK e MOTTA (2018)
 Grupo MCT = NG'
 MCT - Coeficiente c' = 1,67
 MCT - Índice e' = 1,29
 Massa específica (g/cm³) = 1,683
 Umidade Ótima (%) = 19,5
 Energia Compactação = Intermediária
 Norma ou Especificação = DNIT ES 137

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
 Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,39**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **0,84**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **0,54**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,06**

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **125**
 Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **10,15**
 Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **4,63e+05**
 % Veículos na faixa de projeto: **50%**
 Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,32e+05**
 Taxa de crescimento do tráfego: **5,8%**
 Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **3,02e+06**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo Simples	6%	5,80	0,243	0,016
2	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,382
3	Eixo Simples	51%	5,80	0,243	0,124
4	Eixo simples de roda dupla	51%	11,00	5,970	3,057
5	Eixo Simples	34%	5,45	0,189	0,065

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
6	Dois eixos duplos em tandem	34%	18,70	14,418	4,960
7	Eixo Simples	6%	4,95	0,128	0,007
8	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,334
9	Dois eixos duplos em tandem	6%	18,70	14,418	0,807
10	Eixo Simples	1%	4,45	0,084	0,001
11	Eixo simples de roda dupla	1%	11,00	5,970	0,048
12	Eixo simples de roda dupla	1%	11,00	5,970	0,048
13	Dois eixos duplos em tandem	1%	18,70	14,418	0,115
14	Eixo Simples	1%	3,69	0,039	0,000
15	Eixo simples de roda dupla	1%	9,90	3,089	0,025
16	Dois eixos duplos em tandem	1%	16,83	8,090	0,065
17	Dois eixos duplos em tandem	1%	16,83	8,090	0,065
18	Eixo Simples	1%	5,63	0,215	0,002
19	Dois eixos duplos em tandem	1%	14,85	4,073	0,033

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	1,881e+04	1,49%	4,2
6	1,142e+05	2,81%	4,8
12	2,316e+05	3,70%	5,1
18	3,524e+05	4,42%	5,3
24	4,767e+05	5,07%	5,4
30	6,045e+05	5,70%	5,5
36	7,360e+05	6,33%	5,6
42	8,712e+05	6,96%	5,7
48	1,010e+06	7,60%	5,7
54	1,153e+06	8,27%	5,8
60	1,301e+06	8,97%	5,8
66	1,452e+06	9,71%	5,9
72	1,608e+06	10,48%	5,9
78	1,768e+06	11,30%	6,0
84	1,933e+06	12,18%	6,0
90	2,102e+06	13,11%	6,1
96	2,276e+06	14,11%	6,1
102	2,456e+06	15,17%	6,1
108	2,640e+06	16,31%	6,2
114	2,830e+06	17,54%	6,2
120	3,025e+06	18,85%	6,2

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	3,26
3	SUBLEITO	2,97
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		6,2

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 BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	23	17	12	9	6	5	4	4
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	47	28	19	11	8	5	4	3	2

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C5

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	33	22	17	12	9	7	5	4	4

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - SC 281

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	40	25	18	13	10	7	6	5	4

Programa MeDiNa v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Cópia registrada para Barbara (costa.barbararibeiro@gmail.com), da empresa UFSC..

Análise do pavimento

Empresa: **UFSC**

Nome do Projeto: **ESTRUTURA 04 - BR-280/SC - LOTE 22 - ANÁLISE MÉTODO DNER-PRO 269/94**

Responsável pelo projeto: **Bárbara Ribeiro Costa**

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

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **26/04/2021 às 00:02:41** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **99,0%**.

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **7,0mm**

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 BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	5,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	5,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
3	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	6,5	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
4	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C5	15,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
5	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C6	15,0	Resiliente Linear MR = 278 MPa	0,35

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
6	SUBLEITO BR 280	SL	Resiliente Não Linear MR = 182 MPa (1º mês) k1 = 51,80 k2 = 0,360 k3 = -0,790 k4 = 0,000	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades

Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22
Aditivo Modificador = Borracha
Massa específica (g/cm³) = 2,4
Resistência à tração (MPa) = 1,0
Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT
Norma ou Especificação = -

Modelos

Ensaio de Fadiga
-Modelo: **k1 .(et ^ k2)**
-Coeficiente de Regressão (k1): ≥ **4,0e-12**
-Coeficiente de Regressão (k2): ≥ **-3,654**
-Classe de Fadiga: ≥ **2**
-FFM (100μ a 250μ): ≥ **0,99**
Flow Number Mínimo
- Condição de Tráfego Normal: ≥ **750** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: ≥ **2000** ciclos

2 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades

Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22
Aditivo Modificador = Borracha
Massa específica (g/cm³) = 2,4
Resistência à tração (MPa) = 1,0
Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT
Norma ou Especificação = -

Modelos

Ensaio de Fadiga
-Modelo: **k1 .(et ^ k2)**
-Coeficiente de Regressão (k1): ≥ **4,0e-12**
-Coeficiente de Regressão (k2): ≥ **-3,654**
-Classe de Fadiga: ≥ **2**
-FFM (100μ a 250μ): ≥ **0,99**
Flow Number Mínimo
- Condição de Tráfego Normal: ≥ **750** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: ≥ **2000** ciclos

3 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades

Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22
Aditivo Modificador = Borracha
Massa específica (g/cm³) = 2,4
Resistência à tração (MPa) = 1,0
Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT
Norma ou Especificação = -

Modelos

Ensaio de Fadiga
-Modelo: **k1 .(et ^ k2)**
-Coeficiente de Regressão (k1): ≥ **4,0e-12**
-Coeficiente de Regressão (k2): ≥ **-3,654**
-Classe de Fadiga: ≥ **2**
-FFM (100μ a 250μ): ≥ **0,99**
Flow Number Mínimo
- Condição de Tráfego Normal: ≥ **750** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: ≥ **2000** ciclos

4 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C5

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada	Ensaio de Deformação Permanente
Massa específica (g/cm ³) = 2,223	Modelo: ep = psi1.(s3^psi2).(sd^psi3).(N^psi4)
Umidade Ótima (%) = 5,0	Coefficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,0868
Energia Compactação = Modificada	Coefficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,2801
Abrasão Los Angeles (%) = 43,0	Coefficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,8929
Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Coefficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0961

5 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C6

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada	Ensaio de Deformação Permanente
Massa específica (g/cm ³) = 2,025	Modelo: ep = psi1.(s3^psi2).(sd^psi3).(N^psi4)
Umidade Ótima (%) = 7,5	Coefficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,1294
Energia Compactação = Modificada	Coefficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,0647
Abrasão Los Angeles (%) = 43,0	Coefficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,100
Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Coefficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0735

6 - SUBLEITO: BR 280

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Solo NORBACK e MOTTA (2018)	Ensaio de Deformação Permanente
Grupo MCT = NA'	Modelo: ep = psi1.(s3^psi2).(sd^psi3).(N^psi4)
MCT - Coeficiente c' = 0,80	Coefficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,57
MCT - Índice e' = 1,57	Coefficiente de Regressão (k2 ou psi2): 0,71
Massa específica (g/cm ³) = 1,848	Coefficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,27
Umidade Ótima (%) = 12,8	Coefficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,05
Energia Compactação = Intermediária	
Norma ou Especificação = DNIT ES 137	

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **8934**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **14,12**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **4,60e+07**

% Veículos na faixa de projeto: **45%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,07e+07**

Taxa de crescimento do tráfego: **3,0%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **2,37e+08**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo Simples	6%	5,80	0,243	0,014
2	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,347
3	Eixo Simples	32%	5,80	0,243	0,077
4	Eixo simples de roda dupla	32%	11,00	5,970	1,887
5	Eixo Simples	30%	5,45	0,189	0,057
6	Dois eixos duplos em tandem	30%	18,70	14,418	4,361

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
7	Eixo Simples	2%	5,30	0,169	0,003
8	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,111
9	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,111
10	Eixo Simples	2%	5,03	0,137	0,002
11	Três eixos duplos em tandem	2%	28,05	15,827	0,268
12	Eixo Simples	2%	4,95	0,128	0,002
13	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,112
14	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,271
15	Eixo Simples	14%	4,53	0,090	0,012
16	Eixo simples de roda dupla	14%	11,00	5,970	0,829
17	Três eixos duplos em tandem	14%	28,05	15,827	2,199
18	Eixo Simples	4%	4,60	0,096	0,004
19	Dois eixos duplos em tandem	4%	18,70	14,418	0,639
20	Dois eixos duplos em tandem	4%	18,70	14,418	0,639
21	Eixo Simples	6%	3,87	0,048	0,003
22	Dois eixos duplos em tandem	6%	17,35	9,560	0,571
23	Três eixos duplos em tandem	6%	26,03	10,431	0,623
24	Eixo Simples	0%	4,80	0,113	0,000
25	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
26	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
27	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
28	Eixo Simples	0%	4,45	0,084	0,000
29	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,009
30	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,009
31	Dois eixos duplos em tandem	0%	18,70	14,418	0,021
32	Eixo Simples	0%	4,45	0,084	0,000
33	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,003
34	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,003
35	Dois eixos duplos em tandem	0%	18,70	14,418	0,008
36	Eixo Simples	0%	3,69	0,039	0,000
37	Eixo simples de roda dupla	0%	9,90	3,089	0,004
38	Dois eixos duplos em tandem	0%	16,83	8,090	0,012
39	Dois eixos duplos em tandem	0%	16,83	8,090	0,012
40	Eixo Simples	2%	3,75	0,042	0,001
41	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279
42	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279
43	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	1,703e+06	5,93%	5,1
6	1,028e+07	25,76%	5,8

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
12	2,072e+07	66,06%	6,0
18	3,131e+07	99,00%	6,2
24	4,206e+07	99,00%	6,3
30	5,296e+07	99,00%	6,4
36	6,403e+07	99,00%	6,5
42	7,527e+07	99,00%	6,5
48	8,667e+07	99,00%	6,6
54	9,824e+07	99,00%	6,6
60	1,100e+08	99,00%	6,7
66	1,219e+08	99,00%	6,7
72	1,340e+08	99,00%	6,8
78	1,463e+08	99,00%	6,8
84	1,587e+08	99,00%	6,8
90	1,714e+08	99,00%	6,9
96	1,842e+08	99,00%	6,9
102	1,972e+08	99,00%	6,9
108	2,105e+08	99,00%	7,0
114	2,239e+08	99,00%	7,0
120	2,375e+08	99,00%	7,0

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
3	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
4	MATERIAL GRANULAR	1,67
5	MATERIAL GRANULAR	0,88
6	SUBLEITO	4,47
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		7,0

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 BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	29	25	22	18	15	10	8	6	5

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
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	29	24	21	16	13	8	5	4	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	23	18	12	9	8	7

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	62	48	38	28	21	14	11	10	8

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C5

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	73	53	42	30	23	16	13	11	9

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C6

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	89	62	48	33	26	19	15	13	11

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - BR 280

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	108	67	49	34	26	19	15	13	11

Programa MeDiNa v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Cópia registrada para Barbara (costa.barbararibeiro@gmail.com), da empresa UFSC..

Análise do pavimento

Empresa: **UFSC**

Nome do Projeto: **ESTRUTURA 05 - BR-280/SC - LOTE 22 - ANÁLISE MÉTODO DNER-PRO 269/94**

Responsável pelo projeto: **Bárbara Ribeiro Costa**

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

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **26/04/2021 às 00:05:25** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **99,0%**.

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **6,8mm**

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 Mecnístico 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 BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	5,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	5,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
3	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	6,5	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
4	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C5	22,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
5	SUBLEITO BR 280	SL	Resiliente Não Linear MR = 177 MPa (1º mês) k1 = 51,80 k2 = 0,360 k3 = -0,790 k4 = 0,000	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22 Aditivo Modificador = Borracha Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Resistência à tração (MPa) = 1,0 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT Norma ou Especificação = -	Ensaio de Fadiga -Modelo: $k_1 \cdot (e^{k_2})$ -Coeficiente de Regressão (k1): ≥ 4,0e-12 -Coeficiente de Regressão (k2): ≥ -3,654 -Classe de Fadiga: ≥ 2 -FFM (100μ a 250μ): ≥ 0,99 Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 750 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 2000 ciclos

2 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22 Aditivo Modificador = Borracha Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Resistência à tração (MPa) = 1,0 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT Norma ou Especificação = -	Ensaio de Fadiga -Modelo: $k_1 \cdot (e^{k_2})$ -Coeficiente de Regressão (k1): ≥ 4,0e-12 -Coeficiente de Regressão (k2): ≥ -3,654 -Classe de Fadiga: ≥ 2 -FFM (100μ a 250μ): ≥ 0,99 Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 750 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 2000 ciclos

3 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22 Aditivo Modificador = Borracha Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Resistência à tração (MPa) = 1,0 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT Norma ou Especificação = -	Ensaio de Fadiga -Modelo: $k_1 \cdot (e^{k_2})$ -Coeficiente de Regressão (k1): ≥ 4,0e-12 -Coeficiente de Regressão (k2): ≥ -3,654 -Classe de Fadiga: ≥ 2 -FFM (100μ a 250μ): ≥ 0,99 Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 750 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 2000 ciclos

4 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C5

Propriedades	Modelos
--------------	---------

Propriedades

Descrição do Material = Brita Graduada
 Massa específica (g/cm³) = 2,223
 Umidade Ótima (%) = 5,0
 Energia Compactação = Modificada
 Abrasão Los Angeles (%) = 43,0
 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**

5 - SUBLEITO: BR 280**Propriedades**

Descrição do Material = Solo NORBACK e MOTTA (2018)
 Grupo MCT = NA'
 MCT - Coeficiente c' = 0,80
 MCT - Índice e' = 1,57
 Massa específica (g/cm³) = 1,848
 Umidade Ótima (%) = 12,8
 Energia Compactação = Intermediária
 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): **0,57**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **0,71**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **0,27**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,05**

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **8934**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **14,12**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **4,60e+07**

% Veículos na faixa de projeto: **45%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,07e+07**

Taxa de crescimento do tráfego: **3,0%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **2,37e+08**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo Simples	6%	5,80	0,243	0,014
2	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,347
3	Eixo Simples	32%	5,80	0,243	0,077
4	Eixo simples de roda dupla	32%	11,00	5,970	1,887
5	Eixo Simples	30%	5,45	0,189	0,057
6	Dois eixos duplos em tandem	30%	18,70	14,418	4,361
7	Eixo Simples	2%	5,30	0,169	0,003
8	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,111
9	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,111
10	Eixo Simples	2%	5,03	0,137	0,002
11	Três eixos duplos em tandem	2%	28,05	15,827	0,268
12	Eixo Simples	2%	4,95	0,128	0,002
13	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,112
14	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,271
15	Eixo Simples	14%	4,53	0,090	0,012
16	Eixo simples de roda dupla	14%	11,00	5,970	0,829
17	Três eixos duplos em tandem	14%	28,05	15,827	2,199

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
18	Eixo Simples	4%	4,60	0,096	0,004
19	Dois eixos duplos em tandem	4%	18,70	14,418	0,639
20	Dois eixos duplos em tandem	4%	18,70	14,418	0,639
21	Eixo Simples	6%	3,87	0,048	0,003
22	Dois eixos duplos em tandem	6%	17,35	9,560	0,571
23	Três eixos duplos em tandem	6%	26,03	10,431	0,623
24	Eixo Simples	0%	4,80	0,113	0,000
25	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
26	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
27	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
28	Eixo Simples	0%	4,45	0,084	0,000
29	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,009
30	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,009
31	Dois eixos duplos em tandem	0%	18,70	14,418	0,021
32	Eixo Simples	0%	4,45	0,084	0,000
33	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,003
34	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,003
35	Dois eixos duplos em tandem	0%	18,70	14,418	0,008
36	Eixo Simples	0%	3,69	0,039	0,000
37	Eixo simples de roda dupla	0%	9,90	3,089	0,004
38	Dois eixos duplos em tandem	0%	16,83	8,090	0,012
39	Dois eixos duplos em tandem	0%	16,83	8,090	0,012
40	Eixo Simples	2%	3,75	0,042	0,001
41	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279
42	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279
43	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	1,703e+06	5,51%	4,9
6	1,028e+07	21,65%	5,6
12	2,072e+07	54,64%	5,8
18	3,131e+07	90,06%	6,0
24	4,206e+07	99,00%	6,1
30	5,296e+07	99,00%	6,2
36	6,403e+07	99,00%	6,3
42	7,527e+07	99,00%	6,3
48	8,667e+07	99,00%	6,4
54	9,824e+07	99,00%	6,5
60	1,100e+08	99,00%	6,5
66	1,219e+08	99,00%	6,5
72	1,340e+08	99,00%	6,6

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
78	1,463e+08	99,00%	6,6
84	1,587e+08	99,00%	6,7
90	1,714e+08	99,00%	6,7
96	1,842e+08	99,00%	6,7
102	1,972e+08	99,00%	6,8
108	2,105e+08	99,00%	6,8
114	2,239e+08	99,00%	6,8
120	2,375e+08	99,00%	6,8

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
3	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
4	MATERIAL GRANULAR	2,52
5	SUBLEITO	4,33
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		6,8

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 BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	18	15	10	8	6	6
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	28	23	20	16	13	8	5	4	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	39	33	29	22	18	12	9	8	7

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	55	43	35	26	21	14	11	9	8

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C5

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	61	47	38	29	22	15	12	10	9

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - BR 280

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	108	67	49	34	26	19	15	13	11

Programa MeDiNa v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Cópia registrada para Barbara (costa.barbararibeiro@gmail.com), da empresa UFSC..

Análise do pavimento

Empresa: **UFSC**

Nome do Projeto: **ESTRUTURA 06 - SC-281 - ANÁLISE MÉTODO DNER-PRO 269/94**

Responsável pelo projeto: **Bárbara Ribeiro Costa**

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

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **26/04/2021 às 00:09:19** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **22,6%**

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **7,2mm**

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento da estrutura do pavimento!

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 BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	5,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C5	15,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
3	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C6	15,0	Resiliente Linear MR = 278 MPa	0,35
4	SUBLEITO SC 281	SL	Resiliente Não Linear MR = 263 MPa (1º mês) k1 = 135,20 k2 = 0,260 k3 = -0,650 k4 = 0,000	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22	Ensaio de Fadiga
Aditivo Modificador = Borracha	-Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$
Massa específica (g/cm ³) = 2,4	-Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 4,0e-12$
Resistência à tração (MPa) = 1,0	-Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,654$
Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT	-Classe de Fadiga: ≥ 2
Norma ou Especificação = -	-FFM (100 μ a 250 μ): $\geq 0,99$
	Flow Number Mínimo
	- Condição de Tráfego Normal: ≥ 168 ciclos
	- Condição de Tráfego Severa: ≥ 468 ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaise C5

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada	Ensaio de Deformação Permanente
Massa específica (g/cm ³) = 2,223	Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
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 (%) = 43,0	Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,8929
Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0961

3 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaise C6

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada	Ensaio de Deformação Permanente
Massa específica (g/cm ³) = 2,025	Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
Umidade Ótima (%) = 7,5	Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,1294
Energia Compactação = Modificada	Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,0647
Abrasão Los Angeles (%) = 43,0	Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,100
Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0735

4 - SUBLEITO: SC 281

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Solo NORBACK e MOTTA (2018)	Ensaio de Deformação Permanente
Grupo MCT = NG'	Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
MCT - Coeficiente $c' = 1,67$	Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,39
MCT - Índice $e' = 1,29$	Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): 0,84
Massa específica (g/cm ³) = 1,683	Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,54
Umidade Ótima (%) = 19,5	Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,06
Energia Compactação = Intermediária	
Norma ou Especificação = DNIT ES 137	

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **125**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **10,15**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **4,63e+05**

% Veículos na faixa de projeto: **50%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,32e+05**

Taxa de crescimento do tráfego: **5,8%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **3,02e+06**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo Simples	6%	5,80	0,243	0,016
2	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,382
3	Eixo Simples	51%	5,80	0,243	0,124
4	Eixo simples de roda dupla	51%	11,00	5,970	3,057
5	Eixo Simples	34%	5,45	0,189	0,065
6	Dois eixos duplos em tandem	34%	18,70	14,418	4,960
7	Eixo Simples	6%	4,95	0,128	0,007
8	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,334
9	Dois eixos duplos em tandem	6%	18,70	14,418	0,807
10	Eixo Simples	1%	4,45	0,084	0,001
11	Eixo simples de roda dupla	1%	11,00	5,970	0,048
12	Eixo simples de roda dupla	1%	11,00	5,970	0,048
13	Dois eixos duplos em tandem	1%	18,70	14,418	0,115
14	Eixo Simples	1%	3,69	0,039	0,000
15	Eixo simples de roda dupla	1%	9,90	3,089	0,025
16	Dois eixos duplos em tandem	1%	16,83	8,090	0,065
17	Dois eixos duplos em tandem	1%	16,83	8,090	0,065
18	Eixo Simples	1%	5,63	0,215	0,002
19	Dois eixos duplos em tandem	1%	14,85	4,073	0,033

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	1,881e+04	1,57%	5,0
6	1,142e+05	2,98%	5,7
12	2,316e+05	3,95%	6,0
18	3,524e+05	4,74%	6,1
24	4,767e+05	5,48%	6,3
30	6,045e+05	6,20%	6,4
36	7,360e+05	6,92%	6,5
42	8,712e+05	7,65%	6,6
48	1,010e+06	8,42%	6,6
54	1,153e+06	9,22%	6,7
60	1,301e+06	10,06%	6,8
66	1,452e+06	10,96%	6,8
72	1,608e+06	11,92%	6,9
78	1,768e+06	12,94%	6,9
84	1,933e+06	14,04%	7,0

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
90	2,102e+06	15,22%	7,0
96	2,276e+06	16,49%	7,1
102	2,456e+06	17,86%	7,1
108	2,640e+06	19,34%	7,1
114	2,830e+06	20,92%	7,2
120	3,025e+06	22,63%	7,2

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	2,15
3	MATERIAL GRANULAR	1,87
4	SUBLEITO	3,19
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		7,2

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 BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	40	26	18	12	9	6	5	4	4
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	55	32	21	12	8	5	4	3	2

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C5

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	40	26	18	12	9	7	5	5	4

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C6

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
-------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

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	41	25	18	13	10	8	6	5	4

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - SC 281

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	40	25	18	13	10	7	6	5	4

Programa MeDiNa v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Cópia registrada para Barbara (costa.barbararibeiro@gmail.com), da empresa UFSC..

Análise do pavimento

Empresa: **UFSC**

Nome do Projeto: **ESTRUTURA 07 - SC-281 - ANÁLISE MÉTODO DNER-PRO 269/94**

Responsável pelo projeto: **Bárbara Ribeiro Costa**

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

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **26/04/2021 às 00:11:17** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **20,5%**

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

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento da estrutura do pavimento!

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 BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	5,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C5	17,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
3	SUBLEITO SC 281	SL	Resiliente Não Linear MR = 244 MPa (1º mês) k1 = 135,20 k2 = 0,260 k3 = -0,650 k4 = 0,000	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades

Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22
 Aditivo Modificador = Borracha
 Massa específica (g/cm³) = 2,4
 Resistência à tração (MPa) = 1,0
 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT
 Norma ou Especificação = -

Modelos

Ensaio de Fadiga
 -Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$
 -Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 4,0e-12$
 -Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,654$
 -Classe de Fadiga: ≥ 2
 -FFM (100 μ a 250 μ): $\geq 0,99$
 Flow Number Mínimo
 - Condição de Tráfego Normal: ≥ 168 ciclos
 - Condição de Tráfego Severa: ≥ 468 ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C5**Propriedades**

Descrição do Material = Brita Graduada
 Massa específica (g/cm³) = 2,223
 Umidade Ótima (%) = 5,0
 Energia Compactação = Modificada
 Abrasão Los Angeles (%) = 43,0
 Norma ou Especificação = DNIT ES 141

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
 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 - SUBLEITO: SC 281**Propriedades**

Descrição do Material = Solo NORBACK e MOTTA (2018)
 Grupo MCT = NG'
 MCT - Coeficiente $c' = 1,67$
 MCT - Índice $e' = 1,29$
 Massa específica (g/cm³) = 1,683
 Umidade Ótima (%) = 19,5
 Energia Compactação = Intermediária
 Norma ou Especificação = DNIT ES 137

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
 Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,39**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **0,84**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **0,54**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,06**

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **125**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **10,15**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **4,63e+05**

% Veículos na faixa de projeto: **50%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,32e+05**

Taxa de crescimento do tráfego: **5,8%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **3,02e+06**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo Simples	6%	5,80	0,243	0,016
2	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,382
3	Eixo Simples	51%	5,80	0,243	0,124
4	Eixo simples de roda dupla	51%	11,00	5,970	3,057
5	Eixo Simples	34%	5,45	0,189	0,065

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
6	Dois eixos duplos em tandem	34%	18,70	14,418	4,960
7	Eixo Simples	6%	4,95	0,128	0,007
8	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,334
9	Dois eixos duplos em tandem	6%	18,70	14,418	0,807
10	Eixo Simples	1%	4,45	0,084	0,001
11	Eixo simples de roda dupla	1%	11,00	5,970	0,048
12	Eixo simples de roda dupla	1%	11,00	5,970	0,048
13	Dois eixos duplos em tandem	1%	18,70	14,418	0,115
14	Eixo Simples	1%	3,69	0,039	0,000
15	Eixo simples de roda dupla	1%	9,90	3,089	0,025
16	Dois eixos duplos em tandem	1%	16,83	8,090	0,065
17	Dois eixos duplos em tandem	1%	16,83	8,090	0,065
18	Eixo Simples	1%	5,63	0,215	0,002
19	Dois eixos duplos em tandem	1%	14,85	4,073	0,033

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	1,881e+04	1,53%	3,8
6	1,142e+05	2,89%	4,4
12	2,316e+05	3,81%	4,6
18	3,524e+05	4,57%	4,8
24	4,767e+05	5,26%	4,9
30	6,045e+05	5,93%	5,0
36	7,360e+05	6,59%	5,0
42	8,712e+05	7,27%	5,1
48	1,010e+06	7,97%	5,2
54	1,153e+06	8,70%	5,2
60	1,301e+06	9,46%	5,3
66	1,452e+06	10,27%	5,3
72	1,608e+06	11,12%	5,4
78	1,768e+06	12,03%	5,4
84	1,933e+06	13,01%	5,4
90	2,102e+06	14,05%	5,5
96	2,276e+06	15,16%	5,5
102	2,456e+06	16,36%	5,5
108	2,640e+06	17,64%	5,6
114	2,830e+06	19,03%	5,6
120	3,025e+06	20,51%	5,6

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	2,50
3	SUBLEITO	3,12
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		5,6

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 BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	37	24	18	12	9	7	5	5	4
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	52	31	20	12	8	5	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C5

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	37	24	18	12	10	7	6	5	4

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - SC 281

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	40	25	18	13	10	7	6	5	4

Programa MeDiNa v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Cópia registrada para Barbara (costa.barbararibeiro@gmail.com), da empresa UFSC..

Análise do pavimento

Empresa: **UFSC**

Nome do Projeto: **ESTRUTURA 08 - BR-280/SC - LOTE 22 - MEDINA**

Responsável pelo projeto: **Bárbara Ribeiro Costa**

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

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **26/04/2021 às 00:14:12** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **23,5%**

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **5,4mm**

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento da estrutura do pavimento!

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 BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	5,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	5,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
3	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	5,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
4	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	5,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
5	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C5	15,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
6	SUBLEITO BR 280	SL	Resiliente Não Linear MR = 189 MPa (1º mês) k1 = 51,80 k2 = 0,360 k3 = -0,790 k4 = 0,000	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22 Aditivo Modificador = Borracha Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Resistência à tração (MPa) = 1,0 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT Norma ou Especificação = -	Ensaio de Fadiga -Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$ -Coeficiente de Regressão (k1): ≥ 4,0e-12 -Coeficiente de Regressão (k2): ≥ -3,654 -Classe de Fadiga: ≥ 2 -FFM (100μ a 250μ): ≥ 0,99 Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 750 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 2000 ciclos

2 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22 Aditivo Modificador = Borracha Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Resistência à tração (MPa) = 1,0 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT Norma ou Especificação = -	Ensaio de Fadiga -Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$ -Coeficiente de Regressão (k1): ≥ 4,0e-12 -Coeficiente de Regressão (k2): ≥ -3,654 -Classe de Fadiga: ≥ 2 -FFM (100μ a 250μ): ≥ 0,99 Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 750 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 2000 ciclos

3 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22 Aditivo Modificador = Borracha Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Resistência à tração (MPa) = 1,0 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT Norma ou Especificação = -	Ensaio de Fadiga -Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$ -Coeficiente de Regressão (k1): ≥ 4,0e-12 -Coeficiente de Regressão (k2): ≥ -3,654 -Classe de Fadiga: ≥ 2 -FFM (100μ a 250μ): ≥ 0,99 Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 750 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 2000 ciclos

4 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades	Modelos
--------------	---------

Propriedades

Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22
 Aditivo Modificador = Borracha
 Massa específica (g/cm³) = 2,4
 Resistência à tração (MPa) = 1,0
 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT
 Norma ou Especificação = -

Modelos

Ensaio de Fadiga
 -Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$
 -Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 4,0e-12$
 -Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,654$
 -Classe de Fadiga: ≥ 2
 -FFM (100 μ a 250 μ): $\geq 0,99$
 Flow Number Mínimo
 - Condição de Tráfego Normal: ≥ 750 ciclos
 - Condição de Tráfego Severa: ≥ 2000 ciclos

5 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaise C5**Propriedades**

Descrição do Material = Brita Graduada
 Massa específica (g/cm³) = 2,223
 Umidade Ótima (%) = 5,0
 Energia Compactação = Modificada
 Abrasão Los Angeles (%) = 43,0
 Norma ou Especificação = DNIT ES 141

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
 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**

6 - SUBLEITO: BR 280**Propriedades**

Norma ou Especificação = DNIT ES 137
 Energia Compactação = Intermediária
 Umidade Ótima (%) = 12,8
 Massa específica (g/cm³) = 1,848
 MCT - Índice e' = 1,57
 MCT - Coeficiente c' = 0,80
 Grupo MCT = NA'
 Descrição do Material = Solo NORBACK e MOTTA (2018)

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
 Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,57**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **0,71**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **0,27**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,05**

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **8934**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **14,12**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **4,60e+07**

% Veículos na faixa de projeto: **45%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,07e+07**

Taxa de crescimento do tráfego: **3,0%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **2,37e+08**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo Simples	6%	5,80	0,243	0,014
2	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,347
3	Eixo Simples	32%	5,80	0,243	0,077
4	Eixo simples de roda dupla	32%	11,00	5,970	1,887
5	Eixo Simples	30%	5,45	0,189	0,057

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
6	Dois eixos duplos em tandem	30%	18,70	14,418	4,361
7	Eixo Simples	2%	5,30	0,169	0,003
8	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,111
9	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,111
10	Eixo Simples	2%	5,03	0,137	0,002
11	Três eixos duplos em tandem	2%	28,05	15,827	0,268
12	Eixo Simples	2%	4,95	0,128	0,002
13	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,112
14	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,271
15	Eixo Simples	14%	4,53	0,090	0,012
16	Eixo simples de roda dupla	14%	11,00	5,970	0,829
17	Três eixos duplos em tandem	14%	28,05	15,827	2,199
18	Eixo Simples	4%	4,60	0,096	0,004
19	Dois eixos duplos em tandem	4%	18,70	14,418	0,639
20	Dois eixos duplos em tandem	4%	18,70	14,418	0,639
21	Eixo Simples	6%	3,87	0,048	0,003
22	Dois eixos duplos em tandem	6%	17,35	9,560	0,571
23	Três eixos duplos em tandem	6%	26,03	10,431	0,623
24	Eixo Simples	0%	4,80	0,113	0,000
25	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
26	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
27	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
28	Eixo Simples	0%	4,45	0,084	0,000
29	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,009
30	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,009
31	Dois eixos duplos em tandem	0%	18,70	14,418	0,021
32	Eixo Simples	0%	4,45	0,084	0,000
33	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,003
34	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,003
35	Dois eixos duplos em tandem	0%	18,70	14,418	0,008
36	Eixo Simples	0%	3,69	0,039	0,000
37	Eixo simples de roda dupla	0%	9,90	3,089	0,004
38	Dois eixos duplos em tandem	0%	16,83	8,090	0,012
39	Dois eixos duplos em tandem	0%	16,83	8,090	0,012
40	Eixo Simples	2%	3,75	0,042	0,001
41	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279
42	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279
43	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	1,703e+06	1,67%	4,0

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
6	1,028e+07	3,18%	4,5
12	2,072e+07	4,23%	4,7
18	3,131e+07	5,10%	4,8
24	4,206e+07	5,91%	4,9
30	5,296e+07	6,70%	4,9
36	6,403e+07	7,49%	5,0
42	7,527e+07	8,30%	5,1
48	8,667e+07	9,13%	5,1
54	9,824e+07	10,00%	5,1
60	1,100e+08	10,91%	5,2
66	1,219e+08	11,88%	5,2
72	1,340e+08	12,89%	5,2
78	1,463e+08	13,96%	5,3
84	1,587e+08	15,10%	5,3
90	1,714e+08	16,30%	5,3
96	1,842e+08	17,57%	5,3
102	1,972e+08	18,93%	5,4
108	2,105e+08	20,36%	5,4
114	2,239e+08	21,87%	5,4
120	2,375e+08	23,47%	5,4

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
3	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
4	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
5	MATERIAL GRANULAR	1,43
6	SUBLEITO	4,00
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		5,4

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 BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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

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	24	21	19	16	14	10	8	6	5
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	23	19	17	14	11	8	5	4	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	33	28	25	20	17	12	9	7	6

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	49	40	34	26	20	14	11	9	8

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	74	55	43	31	24	17	13	11	10

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C5

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	81	59	46	33	25	18	15	12	11

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - BR 280

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	108	67	49	34	26	19	15	13	11

Programa MeDiNa v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Cópia registrada para Barbara (costa.barbararibeiro@gmail.com), da empresa UFSC..

Análise do pavimento

Empresa: **UFSC**

Nome do Projeto: **ESTRUTURA 09 - BR-280/SC - LOTE 22 - MEDINA**

Responsável pelo projeto: **Bárbara Ribeiro Costa**

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

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **26/04/2021 às 00:16:27** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **26,5%**

>>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada.

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **3,5mm**

ALERTAS

- *Esta análise não constitui o dimensionamento da estrutura do pavimento!*
- *Deflexão acima do limite 70 (0,01mm) da camada de suporte do material estabilizado.*

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 BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	6,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	6,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
3	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	6,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
4	BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC) Balbo, 1993 c: 80 kg/m ³	25,0	Sigmoidal Ei (MPa) = 7000 (1º mês) Ef (MPa) = 6998 (fim período)	0,25

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
5	SUBLEITO BR 280	SL	Resiliente Não Linear MR = 252 MPa (1º mês) k1 = 51,80 k2 = 0,360 k3 = -0,790 k4 = 0,000	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades

Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22
Aditivo Modificador = Borracha
Massa específica (g/cm³) = 2,4
Resistência à tração (MPa) = 1,0
Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT
Norma ou Especificação = -

Modelos

Ensaio de Fadiga
-Modelo: **k1 .(et ^ k2)**
-Coeficiente de Regressão (k1): ≥ **4,0e-12**
-Coeficiente de Regressão (k2): ≥ **-3,654**
-Classe de Fadiga: ≥ **2**
-FFM (100μ a 250μ): ≥ **0,99**
Flow Number Mínimo
- Condição de Tráfego Normal: ≥ **750** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: ≥ **2000** ciclos

2 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades

Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22
Aditivo Modificador = Borracha
Massa específica (g/cm³) = 2,4
Resistência à tração (MPa) = 1,0
Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT
Norma ou Especificação = -

Modelos

Ensaio de Fadiga
-Modelo: **k1 .(et ^ k2)**
-Coeficiente de Regressão (k1): ≥ **4,0e-12**
-Coeficiente de Regressão (k2): ≥ **-3,654**
-Classe de Fadiga: ≥ **2**
-FFM (100μ a 250μ): ≥ **0,99**
Flow Number Mínimo
- Condição de Tráfego Normal: ≥ **750** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: ≥ **2000** ciclos

3 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades

Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22
Aditivo Modificador = Borracha
Massa específica (g/cm³) = 2,4
Resistência à tração (MPa) = 1,0
Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT
Norma ou Especificação = -

Modelos

Ensaio de Fadiga
-Modelo: **k1 .(et ^ k2)**
-Coeficiente de Regressão (k1): ≥ **4,0e-12**
-Coeficiente de Regressão (k2): ≥ **-3,654**
-Classe de Fadiga: ≥ **2**
-FFM (100μ a 250μ): ≥ **0,99**
Flow Number Mínimo
- Condição de Tráfego Normal: ≥ **750** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: ≥ **2000** ciclos

4 - BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC): Balbo, 1993 c: 80 kg/m³

Propriedades

Descrição do Material = Estudo Balbo (1993)
 Teor ótimo de cimento = 80,0
 Resistência à tração (MPa) = 1,25
 Massa específica (g/cm³) = 2,230
 Umidade Ótima (%) = 4,48
 Energia Compactação = Modificada
 Norma ou Especificação = -

Modelos

5 - SUBLEITO: BR 280

Propriedades

Norma ou Especificação = DNIT ES 137
 Energia Compactação = Intermediária
 Umidade Ótima (%) = 12,8
 Massa específica (g/cm³) = 1,848
 MCT - Índice e' = 1,57
 MCT - Coeficiente c' = 0,80
 Grupo MCT = NA'
 Descrição do Material = Solo NORBACK e MOTTA (2018)

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): **0,57**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou ψ_2): **0,71**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou ψ_3): **0,27**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou ψ_4): **0,05**

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **8934**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **14,12**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **4,60e+07**

% Veículos na faixa de projeto: **45%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,07e+07**

Taxa de crescimento do tráfego: **3,0%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **2,37e+08**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo Simples	6%	5,80	0,243	0,014
2	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,347
3	Eixo Simples	32%	5,80	0,243	0,077
4	Eixo simples de roda dupla	32%	11,00	5,970	1,887
5	Eixo Simples	30%	5,45	0,189	0,057
6	Dois eixos duplos em tandem	30%	18,70	14,418	4,361
7	Eixo Simples	2%	5,30	0,169	0,003
8	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,111
9	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,111
10	Eixo Simples	2%	5,03	0,137	0,002
11	Três eixos duplos em tandem	2%	28,05	15,827	0,268
12	Eixo Simples	2%	4,95	0,128	0,002
13	Eixo simples de roda dupla	2%	11,00	5,970	0,112
14	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,271
15	Eixo Simples	14%	4,53	0,090	0,012

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
16	Eixo simples de roda dupla	14%	11,00	5,970	0,829
17	Três eixos duplos em tandem	14%	28,05	15,827	2,199
18	Eixo Simples	4%	4,60	0,096	0,004
19	Dois eixos duplos em tandem	4%	18,70	14,418	0,639
20	Dois eixos duplos em tandem	4%	18,70	14,418	0,639
21	Eixo Simples	6%	3,87	0,048	0,003
22	Dois eixos duplos em tandem	6%	17,35	9,560	0,571
23	Três eixos duplos em tandem	6%	26,03	10,431	0,623
24	Eixo Simples	0%	4,80	0,113	0,000
25	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
26	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
27	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,019
28	Eixo Simples	0%	4,45	0,084	0,000
29	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,009
30	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,009
31	Dois eixos duplos em tandem	0%	18,70	14,418	0,021
32	Eixo Simples	0%	4,45	0,084	0,000
33	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,003
34	Eixo simples de roda dupla	0%	11,00	5,970	0,003
35	Dois eixos duplos em tandem	0%	18,70	14,418	0,008
36	Eixo Simples	0%	3,69	0,039	0,000
37	Eixo simples de roda dupla	0%	9,90	3,089	0,004
38	Dois eixos duplos em tandem	0%	16,83	8,090	0,012
39	Dois eixos duplos em tandem	0%	16,83	8,090	0,012
40	Eixo Simples	2%	3,75	0,042	0,001
41	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279
42	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279
43	Dois eixos duplos em tandem	2%	18,70	14,418	0,279

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	1,703e+06	1,72%	2,8
6	1,028e+07	3,30%	3,0
12	2,072e+07	4,41%	3,1
18	3,131e+07	5,35%	3,2
24	4,206e+07	6,22%	3,2
30	5,296e+07	7,09%	3,3
36	6,403e+07	7,96%	3,3
42	7,527e+07	8,86%	3,3
48	8,667e+07	9,80%	3,4
54	9,824e+07	10,79%	3,4
60	1,100e+08	11,83%	3,4

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
66	1,219e+08	12,93%	3,4
72	1,340e+08	14,10%	3,4
78	1,463e+08	15,35%	3,4
84	1,587e+08	16,67%	3,5
90	1,714e+08	18,07%	3,5
96	1,842e+08	19,57%	3,5
102	1,972e+08	21,16%	3,5
108	2,105e+08	22,84%	3,5
114	2,239e+08	24,63%	3,5
120	2,375e+08	26,52%	3,5

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
3	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
4	BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC)	0,00
5	SUBLEITO	3,53
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		3,5

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 BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	14	13	12	11	10	8	6	5	4
FWD									
Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	14	11	10	9	7	5	4	3	2

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	16	14	13	12	10	8	6	5	4

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	16	15	14	12	11	8	7	5	5

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC) - Balbo, 1993 c: 80 kg/m³

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	16	15	14	13	11	9	7	5	5

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - BR 280

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	108	67	49	34	26	19	15	13	11

Programa MeDiNa v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Cópia registrada para Barbara (costa.barbararibeiro@gmail.com), da empresa UFSC..

Análise do pavimento

Empresa: **UFSC**

Nome do Projeto: **Estrutura 10 - SC-281 - MEDINA**

Responsável pelo projeto: **Bárbara Ribeiro Costa**

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

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **26/04/2021 às 00:22:49** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **21,4%**

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **5,3mm**

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento da estrutura do pavimento!

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 BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	5,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C5	15,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
3	SUBLEITO SC 281	SL	Resiliente Não Linear MR = 237 MPa (1º mês) k1 = 135,20 k2 = 0,260 k3 = -0,650 k4 = 0,000	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades

Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22
 Aditivo Modificador = Borracha
 Massa específica (g/cm³) = 2,4
 Resistência à tração (MPa) = 1,0
 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT
 Norma ou Especificação = -

Modelos

Ensaio de Fadiga
 -Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$
 -Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 4,0e-12$
 -Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,654$
 -Classe de Fadiga: ≥ 2
 -FFM (100 μ a 250 μ): $\geq 0,99$
 Flow Number Mínimo
 - Condição de Tráfego Normal: ≥ 168 ciclos
 - Condição de Tráfego Severa: ≥ 468 ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaise C5**Propriedades**

Descrição do Material = Brita Graduada
 Massa específica (g/cm³) = 2,223
 Umidade Ótima (%) = 5,0
 Energia Compactação = Modificada
 Abrasão Los Angeles (%) = 43,0
 Norma ou Especificação = DNIT ES 141

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
 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 - SUBLEITO: SC 281**Propriedades**

Descrição do Material = Solo NORBACK e MOTTA (2018)
 Grupo MCT = NG'
 MCT - Coeficiente $c' = 1,67$
 MCT - Índice $e' = 1,29$
 Massa específica (g/cm³) = 1,683
 Umidade Ótima (%) = 19,5
 Energia Compactação = Intermediária
 Norma ou Especificação = DNIT ES 137

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
 Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,39**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **0,84**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **0,54**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,06**

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **125**
 Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **10,15**
 Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **4,63e+05**
 % Veículos na faixa de projeto: **50%**
 Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,32e+05**
 Taxa de crescimento do tráfego: **5,8%**
 Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **3,02e+06**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo Simples	6%	5,80	0,243	0,016
2	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,382
3	Eixo Simples	51%	5,80	0,243	0,124
4	Eixo simples de roda dupla	51%	11,00	5,970	3,057
5	Eixo Simples	34%	5,45	0,189	0,065

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
6	Dois eixos duplos em tandem	34%	18,70	14,418	4,960
7	Eixo Simples	6%	4,95	0,128	0,007
8	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,334
9	Dois eixos duplos em tandem	6%	18,70	14,418	0,807
10	Eixo Simples	1%	4,45	0,084	0,001
11	Eixo simples de roda dupla	1%	11,00	5,970	0,048
12	Eixo simples de roda dupla	1%	11,00	5,970	0,048
13	Dois eixos duplos em tandem	1%	18,70	14,418	0,115
14	Eixo Simples	1%	3,69	0,039	0,000
15	Eixo simples de roda dupla	1%	9,90	3,089	0,025
16	Dois eixos duplos em tandem	1%	16,83	8,090	0,065
17	Dois eixos duplos em tandem	1%	16,83	8,090	0,065
18	Eixo Simples	1%	5,63	0,215	0,002
19	Dois eixos duplos em tandem	1%	14,85	4,073	0,033

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	1,881e+04	1,55%	3,7
6	1,142e+05	2,93%	4,2
12	2,316e+05	3,87%	4,4
18	3,524e+05	4,65%	4,6
24	4,767e+05	5,36%	4,7
30	6,045e+05	6,05%	4,7
36	7,360e+05	6,74%	4,8
42	8,712e+05	7,44%	4,9
48	1,010e+06	8,17%	4,9
54	1,153e+06	8,93%	5,0
60	1,301e+06	9,73%	5,0
66	1,452e+06	10,58%	5,1
72	1,608e+06	11,48%	5,1
78	1,768e+06	12,44%	5,1
84	1,933e+06	13,47%	5,2
90	2,102e+06	14,57%	5,2
96	2,276e+06	15,75%	5,2
102	2,456e+06	17,02%	5,3
108	2,640e+06	18,39%	5,3
114	2,830e+06	19,86%	5,3
120	3,025e+06	21,45%	5,3

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	2,18
3	SUBLEITO	3,16
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		5,3

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 BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	38	25	18	12	9	7	6	5	4
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	54	32	21	12	9	5	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C5

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	38	25	18	13	10	7	6	5	4

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - SC 281

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	40	25	18	13	10	7	6	5	4

Programa MeDiNa v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Cópia registrada para Barbara (costa.barbararibeiro@gmail.com), da empresa UFSC..

Análise do pavimento

Empresa: **UFSC**

Nome do Projeto: **Estrutura 11 - SC-281 - MeDiNa (Solo Brita)**

Responsável pelo projeto: **Bárbara Ribeiro Costa**

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

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **26/04/2021 às 00:17:46** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **25,9%**

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **5,3mm**

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento da estrutura do pavimento!

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 BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	5,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C6	15,0	Resiliente Linear MR = 278 MPa	0,35
3	SUBLEITO SC 281	SL	Resiliente Não Linear MR = 234 MPa (1º mês) k1 = 135,20 k2 = 0,260 k3 = -0,650 k4 = 0,000	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA: CAPFLEX B PG 64-22

Propriedades

Tipo de CAP = CAPFLEX B PG 64-22
 Aditivo Modificador = Borracha
 Massa específica (g/cm³) = 2,4
 Resistência à tração (MPa) = 1,0
 Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT
 Norma ou Especificação = -

Modelos

Ensaio de Fadiga
 -Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$
 -Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 4,0e-12$
 -Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,654$
 -Classe de Fadiga: ≥ 2
 -FFM (100μ a 250μ): $\geq 0,99$
 Flow Number Mínimo
 - Condição de Tráfego Normal: ≥ 168 ciclos
 - Condição de Tráfego Severa: ≥ 468 ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C6**Propriedades**

Descrição do Material = Brita Graduada
 Massa específica (g/cm³) = 2,025
 Umidade Ótima (%) = 7,5
 Energia Compactação = Modificada
 Abrasão Los Angeles (%) = 43,0
 Norma ou Especificação = DNIT ES 141

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
 Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,1294**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **-0,0647**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **1,100**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,0735**

3 - SUBLEITO: SC 281**Propriedades**

Descrição do Material = Solo NORBACK e MOTTA (2018)
 Grupo MCT = NG'
 MCT - Coeficiente c' = 1,67
 MCT - Índice e' = 1,29
 Massa específica (g/cm³) = 1,683
 Umidade Ótima (%) = 19,5
 Energia Compactação = Intermediária
 Norma ou Especificação = DNIT ES 137

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$
 Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): **0,39**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **0,84**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **0,54**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,06**

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **125**
 Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **10,15**
 Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **4,63e+05**
 % Veículos na faixa de projeto: **50%**
 Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,32e+05**
 Taxa de crescimento do tráfego: **5,8%**
 Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **3,02e+06**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo Simples	6%	5,80	0,243	0,016
2	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,382
3	Eixo Simples	51%	5,80	0,243	0,124
4	Eixo simples de roda dupla	51%	11,00	5,970	3,057
5	Eixo Simples	34%	5,45	0,189	0,065

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
6	Dois eixos duplos em tandem	34%	18,70	14,418	4,960
7	Eixo Simples	6%	4,95	0,128	0,007
8	Eixo simples de roda dupla	6%	11,00	5,970	0,334
9	Dois eixos duplos em tandem	6%	18,70	14,418	0,807
10	Eixo Simples	1%	4,45	0,084	0,001
11	Eixo simples de roda dupla	1%	11,00	5,970	0,048
12	Eixo simples de roda dupla	1%	11,00	5,970	0,048
13	Dois eixos duplos em tandem	1%	18,70	14,418	0,115
14	Eixo Simples	1%	3,69	0,039	0,000
15	Eixo simples de roda dupla	1%	9,90	3,089	0,025
16	Dois eixos duplos em tandem	1%	16,83	8,090	0,065
17	Dois eixos duplos em tandem	1%	16,83	8,090	0,065
18	Eixo Simples	1%	5,63	0,215	0,002
19	Dois eixos duplos em tandem	1%	14,85	4,073	0,033

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	1,881e+04	1,63%	3,8
6	1,142e+05	3,11%	4,3
12	2,316e+05	4,14%	4,5
18	3,524e+05	5,00%	4,6
24	4,767e+05	5,80%	4,7
30	6,045e+05	6,59%	4,8
36	7,360e+05	7,39%	4,8
42	8,712e+05	8,22%	4,9
48	1,010e+06	9,08%	4,9
54	1,153e+06	10,00%	5,0
60	1,301e+06	10,97%	5,0
66	1,452e+06	12,02%	5,1
72	1,608e+06	13,14%	5,1
78	1,768e+06	14,34%	5,1
84	1,933e+06	15,64%	5,1
90	2,102e+06	17,05%	5,2
96	2,276e+06	18,56%	5,2
102	2,456e+06	20,20%	5,2
108	2,640e+06	21,98%	5,3
114	2,830e+06	23,89%	5,3
120	3,025e+06	25,94%	5,3

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	2,13
3	SUBLEITO	3,17
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		5,3

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 BORRACHA - CAPFLEX B PG 64-22

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	41	26	18	12	10	7	6	5	4
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	60	35	22	12	9	6	4	3	3

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C6

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	41	25	18	13	10	8	6	5	4

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - SC 281

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	40	25	18	13	10	7	6	5	4