

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

RAFAELA COSTA ABREU

**DIMENSIONAMENTO COMPARATIVO DE PAVIMENTO ENTRE:
MÉTODO DNER-81, MÉTODO MECANICISTA E MÉTODO MEDINA
EM UM TRECHO DA BR-101/SC:
UMA COMPARAÇÃO DE RESULTADOS**

FLORIANÓPOLIS, 2023.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

RAFAELA COSTA ABREU

**DIMENSIONAMENTO COMPARATIVO DE PAVIMENTO ENTRE:
MÉTODO DNER-81, MÉTODO MECANICISTA E MÉTODO MEDINA
EM UM TRECHO DA BR-101/SC:
UMA COMPARAÇÃO DE RESULTADOS**

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

Orientador:
Prof. Dr. Fabio Krueger da Silva, Doutor
Coorientador:
Prof. Me. Jucelio Gonçalves

FLORIANÓPOLIS, 2023.

**DIMENSIONAMENTO COMPARATIVO DE PAVIMENTO ENTRE: MÉTODO
DNER-81, MÉTODO MECANICISTA E MÉTODO MEDINA EM UM TRECHO DA
BR-101/SC:
UMA COMPARAÇÃO DE RESULTADOS**

RAFAELA COSTA ABREU

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

Florianópolis, 03 de agosto, 2023.

Banca Examinadora:

Fábio Krueger da Silva, Dr.

Jucelio Gonçalves, Me.

Fernanda Simoni Schuch, Dr^a.

Ramon Knabben, Dr.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, sua presença e amor incondicional na minha vida sempre. Este artigo é a prova de que os esforços deles pela minha educação não foram em vão e valeram a pena.

Agradeço as minhas amigas cultivadas durante a faculdade, principalmente ao Willian e Luiz, que fizeram estes cinco anos de graduação, uma fase extremamente incrível e muito engraçada.

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

Ao professor orientador Fábio, sou grata pela confiança depositada na minha proposta de projeto pelo orientador do meu trabalho. Obrigado por me manter motivada durante todo o processo. Também ao professor Jucelio por dar apoio como coorientador desta pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO	8
1 INTRODUÇÃO	8
2 TIPOLOGIA DE PAVIMENTOS	10
2.1 Flexível	10
3 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS EMPREGADOS NO BRASIL	12
3.1 Método DNER (1981)	12
3.2 ELSYM-5	14
3.3 MeDiNa	15
4 METODO DA PESQUISA	16
4.1 Caracterização do local	16
4.2 Estudo de tráfego	17
4.3 Dimensionamento da estrutura pelo método DNER-81	18
4.4 Análise mecanicista ELSYM-5	20
4.5 Dimensionamento método MeDiNa	23
5 ANÁLISES E DISCUSSÕES	25
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
APÊNDICE A – ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA	38
APÊNDICE B – ELSYM-5 – 7,5 cm	39
APÊNDICE C – ELSYM-5 – 10,0 cm	40
APÊNDICE D – ELSYM-5 12,5 cm	41
APÊNDICE E – ELSYM-5 14,0 cm	42
APÊNDICE F – ELSYM-5 15,0 cm	43
APÊNDICE G – ANÁLISE DA ESTRUTURA – DNER	44
APÊNDICE H – DIMENSIONAMENTO MEDINA HIPÓTESE 1	44
APÊNDICE I – DIMENSIONAMENTO MEDINA HIPÓTESE 2	44
APÊNDICE J – DIMENSIONAMENTO MEDINA HIPÓTESE 3	44
APÊNDICE K – DIMENSIONAMENTO MEDINA HIPÓTESE 4	44
APÊNDICE L – DIMENSIONAMENTO MEDINA	44
APÊNDICE M – ATR (MM) – FIM DA VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO	45
ANEXO A – COEFICIENTES DE EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL	46
ANEXO B – ÁBADO DE ESPESSURAS DO PAVIMENTO	47
ANEXO C – ESPESSURAS MÍNIMAS DE REVESTIMENTO ASFÁLTICO	48
ANEXO D – RESUMO ENSAIOS - PI – 08	49

ANEXO E – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS CLASSES DE VEÍCULOS PESADOS.....	50
ANEXO F – HIPÓTESES OPERACIONAIS E DE CARREGAMENTO.....	51
ANEXO G – FATORES DE EIXO E DE VEÍCULOS	52
ANEXO H - PARÂMETROS AVALIADOS NA ANÁLISE EMPÍRICO-MECANICISTA	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 – Parâmetros para dimensionamento DNER-81.....	12
Tabela 3-2 - Classificação dos materiais empregados no pavimento.	12
Tabela 3-3 - Parâmetros utilização ELSYM-5	14
Tabela 4-1 – Caracterização – Agulha km 204+000	17
Tabela 4-2 - Números “N” USACE.....	18
Tabela 4-3 - Parâmetros Adotados Materiais	21
Tabela 5-1 – Dimensionamento DNER - 81	26
Tabela 5-2 – Tensões Elsym-5.....	26
Tabela 5-3 - Análise tensões para $N_{adm} - 7,5$ cm	26
Tabela 5-4 – Hipóteses de estrutura de pavimento	27
Tabela 5-5- N_{adm} para diferentes espessuras de revestimento	27
Tabela 5-6 – Evolução dos danos no pavimento	28
Tabela 5-7 – Estrutura final dimensionada - MeDiNa.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
CBR	Índice de suporte Califórnia
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
MeDiNa	Método de Dimensionamento Nacional
NBR	Norma Brasileira
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i>

DIMENSIONAMENTO COMPARATIVO DE PAVIMENTO ENTRE: MÉTODO DNER-81, MÉTODO MECANICISTA E MÉTODO MEDINA EM UM TRECHO DA BR-101/SC: UMA COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Rafaela Costa Abreu*

RESUMO

No Brasil, o modal rodoviário é o responsável pela maioria dos transportes sobre o território, sendo a alternativa mais usada para a movimentação de pessoas e cargas, tornando-se o maior colaborador no desenvolvimento socioeconômico nacional e também provocando um grande volume de veículos trafegando diariamente nas rodovias, que segundo o Jornal Estadão 2022, uma pesquisa feita pela Fundação Dom Cabral, que 75% da produção brasileira é transportada por meio do modal rodoviário. Dessa forma, isso é um dos fatores que causam o desgaste e redução da vida útil dos pavimentos. Mas, além disso, há vários fatores que influenciam na vida útil do pavimento, como o método de dimensionamento e, por consequência, o pavimento dimensionado são fatores importantíssimos, pois através da elaboração do projeto estrutural pode-se prever e adequar a estrutura à realidade das cargas e tráfego envolvidos, de maneira que o mesmo seja adequado para o crescimento futuro de cargas atuantes neles. A partir disso comparou-se os resultados obtidos no dimensionamento de um pavimento entre o método do DNER-81, análises mecanicistas e o método mecanístico-empírico MeDiNa, com o objetivo de avaliar se tais metodologias atendem às solicitações de uma rodovia. Os dimensionamentos e análises tem o objetivo de verificar o atendimento das condições mínimas para cada método utilizado. Finalmente, os resultados encontrados mostraram que a utilização do método DNER não atende as condições imposta pelo novo método de dimensionamento, o MeDiNa.

Palavras-Chave: Pavimentos flexíveis; Dimensionamento; Mecanístico-Empírico. MeDiNa.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o modal rodoviário é a alternativa para movimentação de cargas e pessoas mais utilizada, tornando este transporte o maior colaborador do desenvolvimento socioeconômico nacional. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte – CNT a frota de veículos no Brasil, em 2020, chegou a 107,2 milhões de veículos.

Em razão da má qualidade da infraestrutura dos pavimentos no país geram prejuízos na ordem de bilhões de reais todos os anos - CNT – 2017. Pode-se atribuir esses gastos às

¹Rafaela Costa Abreu, do Curso de Engenharia Civil, Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC, Rafaela.a05@aluno.ifsc.edu.br; ²Professor orientador: Fábio Krueger da Silva, titulação: Doutor, Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC, fabio.krueger@ifsc.edu.br; Florianópolis – SC,2023. ³Professor Coorientador: Jucelio Gonçalves, titulação: Mestre, Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC, jucelio@ifsc.edu.br; Florianópolis – SC,2023.

falhas no projeto, construção, uso e manutenção. A vista disso, ocorre um baixo desempenho do pavimento em cumprir sua principal função que é garantir ao usuário condições de trafegabilidade de forma confortável. Além disso, pavimentos em más condições elevam o tempo de viagem e o consumo de combustível dos veículos, podendo refletir em um aumento do custo de transporte. Observando um maior grau importância do modal, as metodologias brasileiras de dimensionamento encontram-se obsoletos, haja vista que em um estudo a CNT 2017, o dimensionamento do pavimento das rodovias apresenta uma defasagem média de 40 anos em relação a países como Estados Unidos, Japão e Portugal.

O método de dimensionamento mais utilizado no Brasil, segundo o DNIT, é o proposto pelo Eng. Murilo Lopes de Souza na década de 1960, direcionado aos pavimentos flexíveis, popularmente conhecido como Método do DNER, que consiste em uma metodologia empírica, responsável pelo dimensionamento de grande parte das rodovias pavimentadas brasileiras (PITANGUI, 2019).

Nessas circunstâncias, o DNIT em conjunto com o IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias e da UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro desenvolveram o software do novo Método de Dimensionamento Nacional – MeDiNa que possibilita a usuário realizar análises e dimensionamentos de pavimentos por meio da análise elástica de múltiplas camadas (AEMC). Este método avalia a rigidez das camadas, a fadiga para revestimentos asfálticos e a deformação permanente para camadas granulares e solos, através da análise do módulo de resiliência e o coeficiente de Poisson - BIEDACHA (2020).

Em virtude disso, buscou-se entender as principais diferenças que o novo método apresenta, quando comparado à análise mecanicista e o método empírico. Para isso, primeiramente, realizou-se o dimensionamento pelo método DNER-81. Após, foi realizada a análise mecanicista através do software ELSYM-5, que elabora os cálculos das tensões e deformações que ocorrem em cada camada do pavimento. Por fim, foi realizado o dimensionamento mecanístico-empírico através do software MeDiNa, com o intuito de entender se as espessuras das camadas dos pavimentos atendem as solicitações do tráfego. A partir disso, elaborou-se uma pesquisa exploratória onde foi testado três metodologias para dimensionamento adequado frente as condições impostas pelo tráfego.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise comparativa de um pavimento flexível, dimensionado pelo método empírico do DNER- 81, outro realizando uma análise mecanicista com o software ELSYM-5 e outro através do Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa), em uma estrutura de pavimento de um trecho da BR-101 no município

de São José/SC. Ainda, busca-se compreender os critérios de dimensionamento de pavimentos flexíveis pelos métodos DNER-81 com auxílio do Elsym-5 e MeDiNa. Após, dimensionar o pavimento pelo método DNER-81, realizar uma análise mecanicista e MeDiNa e por fim, analisar as principais causas da diferença entre os dimensionamentos, se houver.

2 TIPOLOGIA DE PAVIMENTOS

Pavimento de uma rodovia é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semiespaço considerado teoricamente como infinito - a infraestrutura ou terreno de fundação, a qual é designada de subleito (DNIT - 2006). No Brasil as tipologias de pavimentos existentes são flexíveis, semirrígidos e rígidos. Segundo a CNT 2017, 99% dos pavimentos são flexíveis.

Segundo o manual de pavimentação do DNIT 2006, pode-se verificar três tipologias apresentadas abaixo:

Flexível: aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica.

Semirrígido: caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.

Rígido: aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento Portland.

2.1 Flexível

Os pavimentos flexíveis são revestidos com materiais betuminosos ou asfálticos. Sua estrutura é composta geralmente de diversas camadas de materiais que tem como uma de suas funções absorver a flexão da estrutura (GUIMARÃES, 2011). Segundo Branco (2016), a

principal função de um pavimento é garantir uma superfície de rolamento que assegure comodidade e segurança para a circulação de veículos, durante um período determinado, frente às ações do tráfego e condições climáticas que possam vir a ocorrer. Segundo Huang (2003), os materiais que melhor resistem aos esforços devem ficar mais próximos à superfície da estrutura, onde as solicitações dos veículos são maiores. Ainda, afirma que os materiais com menor resistência devem se localizar nas partes inferiores das camadas do pavimento, dessa forma recebem esforços menores, pois esses já foram dissipados nas camadas superiores.

Essas camadas são divididas em revestimento, base, sub-base, reforço de subleito e subleito. Segundo Marques 2010, subdividem-se em:

Revestimento: é uma camada impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos. Deve resistir aos esforços horizontais que nele atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento e, além disso, deve ser resistente ao desgaste. Também tem o intuito de melhorar as condições de rolamento e segurança do usuário.

Base: Camada destinada a resistir e distribuir ao subleito, os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se construirá o revestimento.

Sub-base: função semelhante à da base, responsável por diminuir as tensões para que cheguem ao subleito ou reforço de subleito com níveis menores.

Reforço do Subleito: é a camada de espessura constante transversalmente e variável longitudinalmente, de acordo com o dimensionamento do pavimento, fazendo parte integrante deste. É uma camada que pode ou não existir, dependerá das condições do leito com o objetivo de melhorar a capacidade de suporte de carga do subleito e de reduzir espessura da sub-base.

Subleito: maciço de terra que serve de fundação onde será apoiado todo o pavimento. Deve ser considerado e estudado até as profundidades em que atuam significativamente as cargas impostas pelo tráfego.

3 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS EMPREGADOS NO BRASIL

3.1 Método DNER (1981)

O método DNER – 1981, segundo DNIT, consiste em determinar as espessuras das camadas, e também, os tipos de materiais que serão utilizados, a fim de construir uma estrutura capaz de suportar um determinado volume de tráfego pré-estabelecidos em estudos de tráfego. Esse manual foi elaborado pelo Engenheiro Murilo Lopes de Souza, com a primeira publicação de 1960. Murilo tomou como base o *Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic*, desenvolvido pela USACE.

O método possui parâmetros envolvidos, como:

Tabela 3-1 – Parâmetros para dimensionamento DNER-81

Índice de Suporte	É o valor de CBR, que caracteriza a resistência do solo do subleito a ser utilizado para o dimensionamento do pavimento obtido através de estudos geotécnicos
Fator Climático Regional	É o fator climático regional, que leva em consideração as variações de umidade dos materiais do pavimento durante as estações do ano.
Equivalência	Os coeficientes estruturais (K) considerados pelo Manual de Pavimentação do DNIT (2006), apresentados no anexo A.
Número de solicitações do eixo padrão (N) – 8,2t	Refere-se ao número de solicitações do eixo simples de roda dupla com 8,2 t ao longo do período de projeto. Este valor é obtido mediante estudos de tráfego.
Espessura mínima de revestimento asfáltico	É fixado um valor para o revestimento asfáltico de acordo com o número N calculado após os estudos de tráfego. Esses valores são espessuras recomendadas afim de proteger a base dos esforços advindos do tráfego, afim de evitar rupturas por fadiga do próprio revestimento por esforços repetidos de tração e flexão, apresentados no anexo C.

Fonte: Manual de Pavimentação - DNIT (2006)

Tabela 3-2 - Classificação dos materiais empregados no pavimento.

Subleito	Apresentar uma expansão, medida no ensaio C.B.R., menor ou igual a 2% e um C.B.R. $\geq 2\%$
Reforço do Subleito	Apresentar C.B.R. maior que o do subleito e expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 Ib)
Sub-Base	Apresentar C.B.R. $\geq 20\%$, I.G. = 0 e expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10
Base	Apresentar C.B.R. $\geq 80\%$ e expansão $\leq 0,5\%$ medida com sobrecarga de 10 Ib), Limite de liquidez $\leq 25\%$ e Índice de plasticidade $\leq 6\%$

Fonte: Manual de Pavimentação - DNIT (2006)

DNIT (2006) propõe que o dimensionamento de um pavimento é elaborado em função do número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período

do projeto escolhido. Em outras palavras, o volume total de veículos que trafegam em uma rodovia independe do tipo de veículo, pois esse montante é convertido em um único número equivalente ao eixo padrão de 8,2 toneladas.

Dessa forma, é possível calcular o número N a partir de:

$$N = 365 * P * Vm * FV * FR$$

Onde:

N - Número de operações do eixo padrão;

P - Período de projeto em anos;

Vm – Volume médio diário de tráfego durante a vida de projeto;

FV – Fator de veículo da frota;

FR – Fator climático regional

Assim, foi elaborado um ábaco pelo Eng. Murilo, demonstrado no anexo, que relaciona a espessura total (H) do pavimento, em função de N e do CBR da camada a ser protegida por ele.

Para a proteção do material de sub-base, mesmo que o CBR do material seja maior que 20%, a espessura do pavimento necessário para protegê-lo é determinada adotando CBR máximo de 20%. A espessura de base (B), sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_n) são obtidas pela resolução sucessiva das inequações (1), (2) e (3) apresentadas no Manual de pavimentação do DNIT (2006):

- (1) $RK_R + BK_B \geq H_{20}$
- (2) $RK_R + BK_R + h_{20} \cdot K_S \geq H_n$
- (3) $RK_R + BK_B + h_{20} \cdot K_S + h_n \cdot K_{Ref} \geq H_m$

Quando o CBR da sub-base for igual ou maior que 40 e para $N < 10^6$, admite-se ainda substituir na inequação (1), H_{20} por $0,2 \times H_{20}$. Para $N > 10^7$, na inequação (1), H_{20} por $1,2 \times H_{20}$.

3.2 ELSYM-5

O programa ELSYM-5 (*Elastic Layered System Computer Program*) baseia-se em fundamentos da teoria de elasticidade, utilizando-se métodos indiretos para a solução de equações de equilíbrio e de compatibilidade entre tensões e deformações, geralmente aplicando conceitos de diferenças finitas ou elementos finitos. Desenvolvido por Stuart Kopperman, George Tiller e Ningston Tseng na Universidade da Califórnia - em Berkley, é baseado na teoria de camadas elásticas de BURMISTER (1943) e a solução, das equações é feita pelo método das diferenças finitas. Este software calcula as tensões, deformações e deslocamentos em qualquer ponto da estrutura do pavimento de até 5 camadas por meio de um complexo algoritmo de cálculo (FERNANDES, 2000).

Os materiais são assumidos como sendo isotrópicos e homogêneos, com comportamento elástico linear. As cargas aplicadas sobre a superfície do pavimento são consideradas idênticas, atuando vertical e uniformemente sobre uma área circular.

Este programa calcula as tensões, deformações e superfícies deformadas a partir de dados de entrada e módulos elásticos para as diversas camadas do pavimento e subleito.

A aplicação dos programas de análise de múltiplas camadas elásticas, citados nos itens anteriores requer a definição dos seguintes parâmetros:

Tabela 3-3 - Parâmetros utilização ELSYM-5

Caracterização das cargas aplicadas	Número de cargas idênticas
	Massa da carga (N)
	Pressão transmitida ao pavimento pela carga aplicada (MPa);
	Coordenadas cartesianas do carregamento (cm)
Caracterização da estrutura do pavimento	Espessuras das camadas (cm);
	Valores do coeficiente de Poisson para as diferentes camadas
	Módulos de elasticidade das camadas (MPa)
Localização dos pontos de análise das tensões e deformações	Coordenadas cartesianas na superfície do pavimento (cm)
	Profundidades ao longo da estrutura do pavimento (cm)

Fonte: Manual Elsym-5

Para a determinação dos esforços solicitantes ao pavimento que se desenvolverão ao longo de suas camadas e no subleito, é necessário definir também as condições das cargas atuantes neste pavimento. Para isso, deve-se definir a geometria da superfície de contato pneu-pavimento. A vista disto, deve- ser considerado Pneus com dimensões 1000x20 ou 900x20, com 12 lonas, tipo “com câmara” e com frisos na faixa de rodagem, calibrados a pressão de 0,56 MPa (5,6 Kgf/cm² ou 80 lb/pol²) – ARTERIS 2015, que são as características do eixo padrão de 8,2 t.

Ainda com relação ao carregamento considerado nas análises, adotou-se o carregamento do eixo padrão de 80.400 N uniformemente distribuído sobre um eixo duplo de duas rodas, especificado pelo DNIT em seu manual de pavimentação.

É necessário que se tenha também para as análises, o conhecimento do Coeficiente de Poisson dos materiais, especificados na Tabela 4-3. Este parâmetro é dado pelo inverso da relação entre a deformação vertical imposta ao material pela deformação horizontal sofrida no corpo-de-prova durante o ensaio de compressão uniaxial – CAVA 2018.

3.3 MeDiNa

O Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos-MeDiNa é produto de uma pesquisa desenvolvida entre 2015 e 2018 pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE com a colaboração do Centro de Pesquisas da Petrobrás - CENPES e de diversas Universidades do Brasil. O referido trabalho se intitula, Execução de estudos e pesquisa para elaboração de método mecanístico - empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos (IPR, 2018).

Atualmente, já vigente pelo DNIT, o método MeDiNa baseia-se na análise elástica de múltiplas camadas (AEMEC), que é a base de dados onde são determinadas as tensões, deformações e deslocamentos da estrutura para o software processar o dimensionamento. Dessa maneira é possível avaliar os danos causados pelas cargas do tráfego em todas as suas camadas constituintes. Esses danos são representados pela área de trincamento na superfície do revestimento e afundamentos de trilha de roda em cada camada subjacente. Esse método gera um relatório desses danos progressivamente, ano a ano, durante todo o período de projeto.

Hoje, já implantado no DNIT, o novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos auxilia na elaboração de projetos de estruturas de pavimento mais adequados às condições de solicitação do tráfego, proporcionando melhoria dos processos de avaliação dos projetos contratados e confiabilidade de estimativa da vida útil.

Vale ressaltar que o programa está em constante calibração com planilhas com dados de monitoramento de rodovias em todo o país que devem ser encaminhadas ao IPR que,

segundo o DNIT/IPR (2020), tomará as ações necessárias para que os dados possam ser utilizados no aperfeiçoamento da calibração do novo método de dimensionamento nacional.

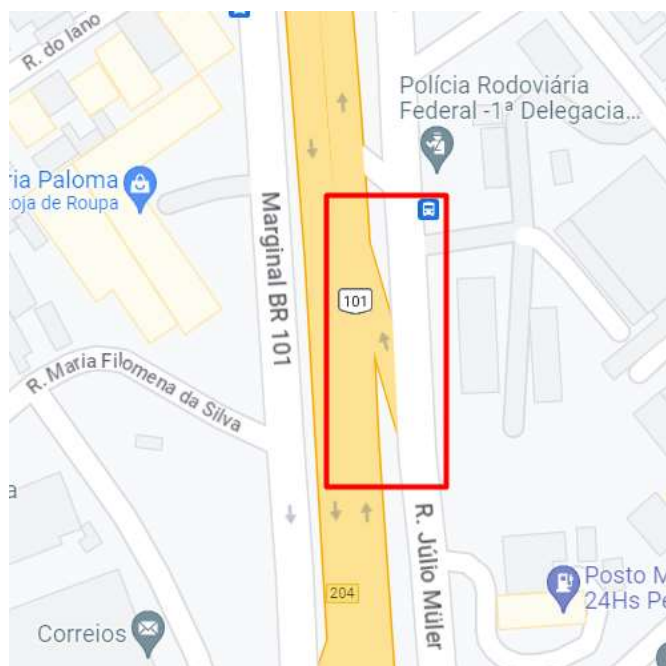
4 METODO DA PESQUISA

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi realizada a partir da consulta e da análise dos projetos e memoriais descritivos elaborados na execução da terceira faixa da Rodovia Mário Covas BR-101, com o objetivo de compilar dados com o intuito de elaborar um novo dimensionamento do pavimento através do software MeDiNa.

4.1 Caracterização do local


A presente pesquisa teve como base o memorial do projeto e o dimensionamento das estruturas de restauração do pavimento dos acostamentos existentes da Pista Norte da Rodovia BR-101/SC (Rodovia Governador Mario Covas), uma rodovia sob concessão da empresa Arteris, entre os municípios de Palhoça e São José/SC. Para a elaboração desse trabalho foi selecionado um trecho de conformação geométrica de agulhas de integração (alças de acesso à rodovia), onde foi executada a demolição do pavimento existente e a implantação de um novo.

Figura 4-1 – Localização – Agulha km 204+000



Fonte: Google Maps (2023).

Tabela 4-1 – Caracterização – Agulha km 204+000

Agulha km 204+000	
<p>Trecho urbano com tráfego de cargas pesadas e alto fluxo de carros comerciais. O trecho antes da execução da obra apresentava inúmeras patologias no pavimento, como deformação permanente do pavimento e fissuração.</p>	

Fonte: Autora (2023)

4.2 Estudo de tráfego

O Estudo de Tráfego tem como objetivo obter, através de métodos sistemáticos de coleta, dados relativos ao comportamento deste tráfego ao longo da vida útil das vias no que se refere ao pedestre, o veículo, a via e finalmente o meio ambiente (DNIT 2006).

O número de solicitações que serão aplicadas no pavimento é caracterizado pelo número “N” que é o equivalente ao número de repetições do eixo simples padrão de 8,2t para um período de projeto. Esse tempo é estipulado pelo projetista, que nesse trabalho será determinado o período de 10 anos. Dessa forma, segue no anexo E a distribuição percentual das classes de veículos pesados considerada no cálculo dos números “N”.

Vale ressaltar que, por determinação da concessionária, após a abertura da 3º faixa, o fluxo de veículos pesado será direcionado para a 2º faixa de rolamento, logo a porcentagem de veículos na faixa mais solicitada para o cálculo dos números “N” USACE e AASHTO será somente de 40%. Ainda, para trechos de duas faixas por sentido a porcentagem de veículos na faixa mais solicitada será de 90% e para trechos de faixa única a porcentagem de veículos na faixa mais solicitada será de 100%, demonstrados no anexo F.

A partir dos dados apresentados nos anexos E, anexos F e anexo G, foram calculados os números “N” para cada um dos segmentos de 3º faixa da Pista Norte da Rodovia BR-101/SC, no segmento compreendido entre o km 200+450 e o km 216+000. Seguem abaixo os resultados obtidos:

Tabela 4-2 - Números “N” USACE

Agulha	Número de Faixas	VDMA		Fator de Veículo USACE Flexível	% de Veículos na Faixa + Solicitada	Fator Climático Regional	USACE Flexível	
		2016	2026				05 anos	10 anos
204+000	1	287	363	8,2	100%	1	4,55E+06	9,82E+06

Fonte: Memorial de cálculos - MC-07-101/SC-200-4-P09/501 - (2016)

A taxa de crescimento anual não foi especificada nos memoriais elaborados. Logo para fins de cálculo foi utilizada a taxa de 3% de crescimento anual de tráfego, que é a taxa de crescimento recomendada pelo DNIT (SOARES, 2014).

4.3 Dimensionamento da estrutura pelo método DNER-81

Inicialmente foram analisados os projetos e memoriais referentes à pavimentação, elaborados por uma empresa de engenharia, responsável pelo dimensionamento do pavimento flexível executado na obra de ampliação de capacidade e conformação geométrica da rodovia em questão. Essa análise é necessária para aferir as camadas do pavimento, assim como as espessuras e materiais utilizados. A partir dessas informações é possível fazer o comparativo entre o método DNER-81, análise mecanicista e o software MeDiNa.

Em seguida, foram elaboradas planilhas para dimensionamento no software Excel, imputando todas as fórmulas necessárias, tanto para o dimensionamento DNER-81 quanto as curvas de fadiga para realizar a análise mecanicista, aliando as tensões obtidas através do software ELSYM-5. Como todos os dados necessários para execução dos cálculos já foram fornecidos no memorial de cálculos, não se fez necessário a execução de nenhum cálculo preliminar, apenas imputar os valores nas planilhas de dimensionamento.

Vale ressaltar que para a elaboração de tal projeto foram necessários executar vários estudos, em destaque o estudo de tráfego. O estudo de tráfego permite determinar, de forma quantitativa, a capacidade das vias e, em consequência, o estabelecimento dos meios construtivos necessários à melhoria da circulação ou das características de seu projeto (DNIT 2006).

A partir dos resultados do estudo de tráfego determinou-se o número N que é o número equivalente ao eixo padrão de 8,2 toneladas, que é utilizado no método do DNER – 81 quanto no método MeDiNa. Esse valor determina o número de solicitações que serão

aplicadas na estrutura do pavimento. No estudo de tráfego realizado, foi determinado um número N de 10 anos para a implantação do novo pavimento a critério do projetista que elaborou o estudo de tráfego.

Além do número N, para elaborar o dimensionamento através do método DNER é necessário ter informações sobre o CBR do subleito, uma vez que é indispensável para dimensionar a espessura equivalente do mesmo. Essas camadas são: sub-base, base e revestimentos.

Para dar sequência aos cálculos foi necessário determinar o CBR do sub-leito. No sentido de obter esse valor é necessário realizar o ensaio de determinação do Índice de Suporte Califórnia, rígido pelas normas ABNT NBR 9895:2016 – Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio, DNIT 172/2016 – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio, DNER-ME162-94 – Ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas. No memorial foram executadas 29 amostras de solos na profundidade do subleito para realizar o ensaio e os resultados estão demonstrados no anexo D.

No anexo D, são demonstrados os ensaios de geotecnia em especial o CBR do subleito em diferentes pontos da rodovia. Dessa forma foi calculado o valor de CBR de projeto pela empresa responsável pela elaboração dos ensaios.

O valor mínimo de CBR calculado foi de 8,59%, mas a critério do projetista, foi adotado o menor valor de CBR entre todas as amostras ensaiadas, afim de calcular a estrutura considerando a pior situação possível. Analisando o anexo D é possível verificar que o poço PI-020 é local com menor valor de CBR 4,30 %. Dessa forma, foi considerado no dimensionamento o CBR igual a 4,0% para todos os trechos do projeto. Já para a brita graduada simples e o macadame seco foram estabelecidos os CBR indicados no manual DNER – método de projeto de pavimentos flexíveis.

Sendo assim, segue a baixo os valores de CBR que serão empregados nos cálculos desta pesquisa:

- Base: CBR 80%
- Sub-base: CBR 20%
- Subleito: CBR 4%

Após a definição dos CBR dos materiais foi elaborada uma planilha no software Excel compilando todas as formulas especificadas pelo DNER-81 para determinar as espessuras

necessárias para atender as solicitações de cargas aplicadas no pavimento referente ao número N calculado através do estudo de tráfego realizado.

4.4 Análise mecanicista ELSYM-5

A análise mecanicista à fadiga consiste em avaliar o comportamento dos pavimentos verificando deformações na superfície do pavimento e tensões, sendo elas de flexão e deformação de tração na fibra inferior do revestimento a Teoria Elástica de Sistemas de Camadas elaborada por Burmister em 1940. Essa verificação é feita através de modelos experimentais que relacionam o comportamento do material a ser utilizado com o número de solicitações de cargas aplicadas na estrutura do pavimento.

Inicialmente, é necessário avaliar as características dos materiais utilizados no dimensionamento através do método DNER-81 em relação aos coeficientes de Poisson e módulo de elasticidade. Dessa forma, foi realizado um novo dimensionamento, dispondo de parâmetros geomecânicos, que foram obtidos através de ensaios de determinação de módulo de resiliência seguindo a NORMA DNIT 181/2018 – ME que estabelece o método para determinar o módulo de resiliência, o módulo instantâneo, o módulo total e o coeficiente de Poisson, de misturas asfálticas. Como torna-se inviável a realização desses ensaios para a elaboração da pesquisa, pelo fato de não possuir os equipamentos para a elaboração dos ensaios e serem caros para elaboração, tais módulos foram extraídos de bibliografias, a fim de elaborar um comparativo mais fiel. Vale ressaltar que a análise final contempla somente a verificação das diferenças entre as espessuras do pavimento, a fim de avaliar se o método de dimensionamento aplicado influencia num aumento ou diminuição das camadas do pavimento.

Os materiais utilizados nas diversas camadas da estrutura do pavimento flexível e seus respectivos módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson adotados para a análise mecanicista encontram-se indicados na Tabela 4-3. Vale ressaltar que os valores são teóricos, retirados do software MeDiNa.

Tabela 4-3 - Parâmetros Adotados Materiais

CAMADA	MÓDULO DE ELASTICIDADE (E - kgf / cm ²)	COEFICIENTE DE POISSON ()
Revestimento: CBUQ	49.800	0,30
Base: Brita Graduada Simples	3.110	0,35
Sub-Base: Macadame Seco	2.000	0,35
Subleito (MR = 220 x CBR ^{0,8})	667	0,45

Fonte: MeDiNa (2023)

Primeiramente, para executar esta análise é necessário ter conhecimentos dos módulos de poisson e coeficiente de resiliência dos materiais empregados no dimensionamento. Tais propriedades podem ser extraídas de referências teóricas ou por resultados de ensaios laboratoriais aplicados nos materiais, estipulados à critério do projetista. Cabe citar que sempre é recomendável a condução de ensaios de laboratoriais para determinação das propriedades dos materiais, pois nesses ensaios é possível simular as variações de tensões, temperatura e nível de deformação, aspectos que auxiliam no entendimento do comportamento reológico do material. Já para a determinação do módulo de resiliência do subleito, foi utilizado um modelo de previsão que correlaciona o CBR em porcentagem (CARMO), demonstrado na equação abaixo:

$$MR = 220 (CBR)^{0,8}$$

Também são utilizados valores da pressão de pneumáticos e posicionamento do tráfego das faixas de rolamento, citados no item 3.2.

Com base nos módulos especificados anteriormente são calculadas: previsões de desempenho, deformações e tensões. Dessa forma, para o primeiro item, o modelo considera a área de trincamento por fadiga das camadas asfálticas e cimentada e o acúmulo de deformações permanentes nos solos, materiais granulares e camadas asfálticas. Já para o cálculo de tensões e deformações são utilizados softwares para realizar o cálculo das deformações e tensões provocadas pelas cargas aplicadas na estrutura do pavimento. Esses programas devem ser baseados na teoria de camadas elásticas que são considerados os seguintes parâmetros: (i) deformação de tração (ϵ_t) na fibra inferior da camada betuminosa; (ii) estado de tensão no topo da camada de base; (iii) tensão (σ_v) ou deformação vertical (ϵ_v) no topo do solo de fundação (FONTES), como demonstrado na figura no anexo H.

Dessa forma, estes valores que são calculados por programas, que no presente trabalho foi o ELSYM-5, serão aplicados em modelos de fadiga, que correlacionam o desempenho do

pavimento e a progressão de perda de serventia e defeitos. Assim, através de modelos de desempenho (curvas de fadiga) dos concretos asfáltico e aplicado um fator campo-laboratório, foi calculado o número N equivalente máximo que a estrutura estipulada resiste e por fim foi analisado se as cargas correspondentes ao número N de projeto serão suportadas.

O pavimento é tratado como uma estrutura de engenharia e seu comportamento mecânico é avaliado em função do carregamento e da resistência dos materiais, assim como é feito com as estruturas de aço ou concreto (FERREIRA, 2013).Essas teorias, porém, não modelam alguns fatores que devem ser observados no dimensionamento de um sistema em camadas, em que as propriedades variam com o tempo e com as condições ambientais, e que tem a deterioração acumulada com a passagem das cargas variáveis em intensidade, distribuição e velocidade. Por isso a parcela de empirismo acaba sendo inevitável, com a aplicação dos fatores de calibração campo-laboratório sobre os modelos desenvolvidos em laboratório (MOTTA, 1991; LEKARP et al. 2000a apud FRANCO, 2007), que nos modelos que foram utilizados para realizar a análise mecanicista já foram contemplados. Seguem abaixo os modelos:

Topo do Revestimento Asfáltico:

$$\text{USACE: } \log \delta = 3,148 - 0,188 \log N;$$

Onde:

N = Número de solicitações do eixo padrão (N) – 8,2t

δ = Tensão no topo da camada de base Sub-base granular:

Fibra Inferior do Revestimento asfáltico:

$$\text{Pinto (1991): } N = 2,10 \times 10^{-3} \cdot (1/\epsilon t)^{2,6}$$

Onde:

N = Número de solicitações do eixo padrão (N) – 8,2t

ϵt = Deformação de tração na fibra inferior da camada betuminosa

$$\text{Brown. Et al. (1977): } N = 8,9 \times 10^{-13} \cdot (1/\epsilon t)^{4,9}$$

Onde:

N = Número de solicitações do eixo padrão (N) – 8,2t

ϵt = Deformação de tração na fibra inferior da camada betuminosa

Subleito:

$$\text{Klomp (1962): } \sigma_{v,adm} = (0,006 \times MR) / (1 + 0,7 \log N);$$

Onde:

N = Número de solicitações do eixo padrão (N) – 8,2t

δ = Tensão ou deformação vertical no topo do solo de fundação

MR = Módulo de resiliência do subleito

A partir disso, para que a estrutura seja validada, o número de solicitações calculadas a partir do ELSYM-5 deve ser superior ao calculado para projeto.

4.5 Dimensionamento método MeDiNa

Com o novo Método de Dimensionamento Nacional torna-se necessário, além da campanha de ensaios tradicionais de caracterização do solo do subleito e dos demais materiais granulares, cimentícios e asfálticos - a serem empregados na estrutura do pavimento - deve-se também incluir os ensaios de Módulo de Resiliência DNIT 134-2018 e Deformação Permanente DNIT 179-2018.

a) Definição do Tipo de Projeto

Para realizar o dimensionamento é necessário definir o tipo de projeto, que está dividido em dois itens:

- Pavimento Novo (Nível A): Elaboração de projetos de pavimentos novos, onde as propriedades dos materiais utilizados nas camadas são obtidas através de ensaios de laboratório ou teóricos.
- Projeto de Reforço: Elaboração de projeto de reforço, onde as propriedades dos materiais das camadas existentes são obtidas através de retro análise das bacias deflectométricas.

Esse item deve-se definir a estrutura do pavimento, onde é possível estabelecer as propriedades de cada uma das camadas da estrutura do pavimento, como: material constituinte e o tipo selecionado, espessura, módulo de resiliência (se linear ou não linear), e coeficiente de Poisson. Inicialmente as espessuras definidas foram as provenientes do dimensionamento elaborado através do método do Eng. Murilo Lopes.

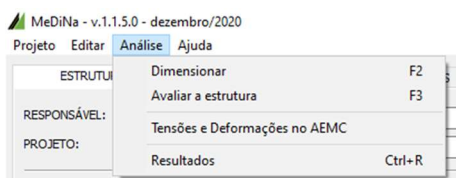
b) Definição de Tráfego

O programa pode ser utilizado para calcular automaticamente o Número Equivalente de Passagens do Eixo Padrão Rodoviário. Este pode ser obtido a partir do Volume Médio Diário (VMD) em conjunto com o Fator de Veículo (FV). A partir destes dois valores, o programa MeDiNa calcula o Número Anual Equivalente de Eixos (N anual) automaticamente. Caso o projetista já tenha o N anual, ele pode entrar direto com o valor na caixa correspondente e o programa irá atualizar, mantendo o FV constante (DNIT 2014).

c) Análise da Estrutura

Após preencher todos os itens necessários para realizar o dimensionamento deve-se clicar no ícone “análise”, no canto superior, demonstrado na figura a seguir:

Figura 4-2 – Menu Bar - MeDiNa



Fonte: MeDiNa (2023)

Para processar a análise há duas opções:

- Avaliar estrutura (F2): o programa realiza diversas análises variando as espessuras para definir a espessura mínima para atender o critério de fadiga.
- Dimensionar (F3): que analisa a estrutura com a espessuras adotadas pelo projetista realizando cálculos e verificação de área trincada e deformação permanente.

d) Relatórios

Após a finalização do dimensionamento ativa-se a Aba Resultados. Nela ficam disponíveis os seguintes relatórios:

1. Evolução Mensal dos Danos:

Apresenta os resultados do comportamento da área trincada, da deformação permanente total e do Módulo Sigmoidal quando houver camadas cimentadas na estrutura.

2. Resumo da Deformação Permanente:

Apresenta a deformação permanente ao fim do período de análise, com a contribuição de cada camada na deformação permanente total.

3. Relatório Completo da Análise:

É a compilação dos dados dos itens citados acima junto as informações utilizadas no dimensionamento.

e) Critérios de Desempenho

O Software dispõe de critérios de desempenho sugeridos para a utilização na concepção e dimensionamento de pavimentos que auxiliam o programa a obter a espessura mínima das camadas demonstrado na imagem abaixo:

Tabela 4-1 – Quadro de critérios de desempenho para concepção e dimensionamento de pavimentos no MeDiNA

Tipo de Via	Área Trincada (máx.)	Afundamento de Trilha de Roda (máx.)
Sistema Arterial Principa	30%	10 mm
Sistema Arterial Primário	30%	13 mm
Sistema Arterial Secundário	30%	20 mm
Sistema Coletor Primário	30%	13 mm
Sistema Coletor Secundário	30%	20 mm
Sistema Local	30%	20 mm

Fonte: (KNABBEN *et al.*, 2021)

5 ANÁLISES E DISCUSSÕES

Primeiramente, foi executado o dimensionamento seguindo as premissas do método do Eng. Murillo, escolhendo concreto asfáltico como material para o compor o revestimento do pavimento e materiais granulares para base e sub-base. Dessa forma, resultou em um pavimento com revestimento de 7,5 cm, base de 15 cm e sub-base de 44 cm mostrado na Tabela 5-1 abaixo:

Tabela 5-1 – Dimensionamento DNER - 81

Início (km)	Término (km)	EXTENSÃO (m)	ISC SUBLEITO	ISC SUB-BASE	N (USACE)	Hn (cm)	Revestimento (cm)	Base (cm) (Calculado)	Base (cm) (Adotado)	Sub-base (cm) (Calculado)	Sub-base (cm) (Adotado)	Efetivo Adotado
Aguilha km 204+000												
0+0,000	0+200,000	0+200,000	4,0	20	9,82E+06	74,0	7,5	15,0	15,0	44,0	44,0	63,5

Fonte: Autora

Após o dimensionamento pelo método DNER-81, foram imputadas as camadas resultantes desse método no software elsym-5 para a análise das tensões. Como apresentado no apêndice B, as tensões foram analisadas nos pontos $x(0,0)$ y $(0,0)$ e $x(16,0)$ y $(0,0)$, que é no centro do eixo padrão, e as posições de z em $(0,0)$ – topo do pavimento, $(7,5, 0)$ – embaixo da fibra do revestimento e $(66,5, 0)$ – subleito. Dessa forma, conforme demonstrado no apêndice B, foram analisadas todas as tensões geradas e escolhidas as de valor maior em cada camada do pavimento apresentado abaixo na Tabela 5-2.

Tabela 5-2 – Tensões Elsym-5

Tipo do revestimento	Revestimento	δ ($\times 10^{-2}$ mm)	et (cm/cm)	σ_s (kgf/cm ²)
Convencional	7,5	45,9	2,08E-04	0,182

Fonte: Autora

Após o dimensionamento pelo método DNER-81, foram imputadas as camadas resultantes desse método no software elsym-5 para a análise das tensões, apresentado na Tabela 5-2. A partir disso, foram inseridas as tensões e deformações geradas pelo Elsym-5 em curvas de fadiga para análise do número N_{adm} para o tráfego de projeto.

Tabela 5-3 - Análise tensões para N_{adm} - 7,5 cm

N projeto = 9,82+06 ISC - 4%		
Espessura do Revestimento (cm)		7,5
Parâmetros	Modelo	Nadm
et	Brown (1977)	9,79E+05
	Pinto (1991)	7,86E+06
δ	USACE	8,04E+07
$\sigma_{subleito}$	Klomp (1962)	9,64E+29

Fonte: Autora

Foram aplicadas nas curvas de fadiga de Brown (1977) e Pinto (1991) para as tensões de tração na fibra inferior do pavimento que resultaram em $N_{adm} = 9,34 \times 10^5$ e $N_{adm} = 7,66 \times 10^6$, que não atendem ao $N_{projeto}$. Já, para o topo da base utilizou-se o modelo proposto pela

USACE, resultando em um $N_{adm} = 6,44 \times 10^7$, atendendo ao e Klomp (1962) para o subleito, atendendo ao projeto com $N_{adm} = 1,28 \times 10^{23}$.

Verificou-se que as espessuras determinadas para o revestimento pelo método do Eng. Murilo não atenderam as solicitações geradas pela carga dos veículos. Logo, foram criadas novas hipóteses de espessura do pavimento, afim de validar uma estrutura que suporte o tráfego, demonstrado na Tabela 5-4.

Tabela 5-4 – Hipóteses de estrutura de pavimento

Hipóteses				
Camada	H1	H2	H3	H4
Revestimento (cm)	10	12	14	15
Base (cm)	15	15	15	15
Sub-base (cm)	44	44	44	44
Total	69	71	73	74

Fonte: Autora

Essas hipóteses foram avaliadas no software Elsym-5, assim como a estrutura inicial, e foram aplicadas as mesmas curvas de fadiga para validar o $N_{adm} \geq N_{projeto}$, apresentado na Tabela 5-5.

Tabela 5-5- N_{adm} para diferentes espessuras de revestimento

N projeto = 9,82+06 ISC - 4%					
Espessura do Revestimento (cm)		10	12,5	14	15
Parâmetros	Modelo	Nadm	Nadm	Nadm	Nadm
et	Brown (1977)	2,22E+06	5,36E+06	9,09E+06	1,23E+07
	Pinto (1991)	1,21E+07	1,94E+07	2,56E+07	3,02E+07
δ	USACE	1,41E+08	2,29E+08	3,02E+08	3,56E+08
$\sigma_{subleito}$	Klomp (1962)	1,21E+34	6,81E+38	7,64E+41	2,04E+44

Fonte: Autora

É possível verificar que foi necessário o aumento da espessura da camada do revestimento para uma espessura de 15 cm para que todas as curvas de fadiga adotadas fossem validadas com o $N_{adm} \geq N_{projeto}$.

Em seguida, o mesmo pavimento calculado pelo método DNER-81 foi imputado no software MeDiNa, afim de avaliar as considerações do software sobre tal estrutura. Como apresentado no apêndice G, verificou-se que a estrutura não suporta a carga que nela é aplicada, tendo como 3,5 anos o fim da sua vida útil, com mais de 30% de área trincada e 8,5

anos com 100% de sua área trincada. Dessa forma, é possível inferir que a estrutura estaria subdimensionada para o número N.

Ainda, também foram imputadas as espessuras das hipóteses de espessuras do pavimento, com o intuito de validá-las pelo método MeDiNa. Após a análise, verificou-se que nenhuma, mas estruturas das hipóteses atenderam os critérios do novo método, tendo o fim da sua vida útil antes dos 10 anos de projeto, apresentados nos apêndices H, apêndice I, apêndice J e apêndice K.

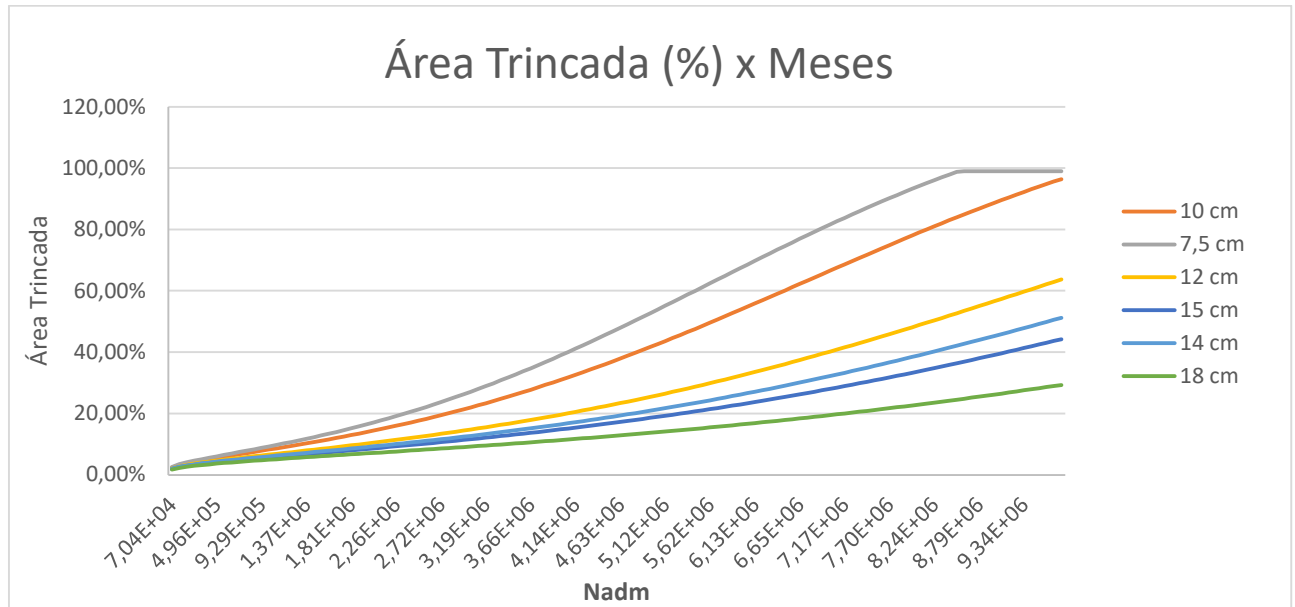
Tabela 5-6 – Evolução dos danos no pavimento

Evolução dos Danos no Pavimento				
	H1	H2	H3	H4
Área trincada > 30%	4,3 anos	6,0 anos	7,0 anos	7,8 anos
Área trincada fim da vida útil	96,43%	63,70%	51,18%	44,21%

Fonte: Autora

O gráfico abaixo demonstra a evolução da área trincada dos cinco pavimentos estudados nesta pesquisa, analisados no software MeDiNa. Os dados apresentados nos gráficos estão disponibilizados nos apêndices do documento.

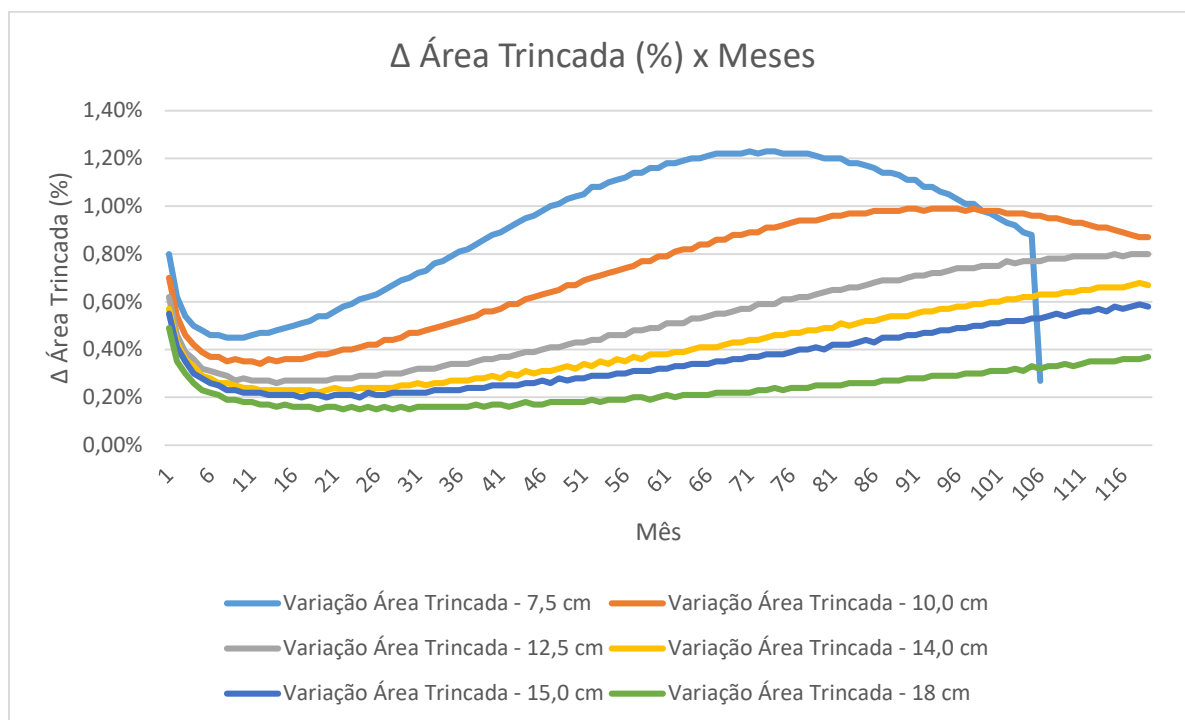
Gráfico 5-1 – Evolução da área trincada através dos meses



Fonte: Autora (2023)

Percebe-se que a área trincada possui uma evolução progressiva em relação ao passar dos meses. Entretanto, para entender como que ocorre a evolução dessa patologia deve-se identificar a variação da área trincada, apresentado no gráfico abaixo.

Gráfico 5-2 – Variação da área trincada através dos meses



Fonte: Autora (2023)

Percebe-se que a evolução da variação da área trincada é, em sua maior parte, crescente, porém, apresenta também um período decrescente devido ao evento de propagação das trincas, que possui três fases: fissuração, crescimento estável das trincas e propagação instável das mesmas. O primeiro estágio de fissuração ocorre devido as cargas na qual o pavimento é submetido e as variações de temperatura, como demonstrado no Gráfico 5-2. Após inicia-se a propagação estável das trincas devido às deformações plásticas cíclicas associadas a concentrações de tensão, que ocorrem devido à fadiga dos materiais e variações térmicas. Por fim, sucede-se o crescimento instável das trincas, que podem ter origem de microporosidades, bolhas e vazios, pois são focos de concentração de tensões, que pela repetida aplicação de cargas cíclicas podem aumentar a área trincada, dessa forma reduzir a resistência mecânica do material.

A partir disso, foi solicitado ou software para dimensionar uma estrutura que suportasse o tráfego, apresentado no apêndice L. Dessa forma, foi calculada uma estrutura com

19,1 cm de revestimento asfáltico modificado com borracha, 15 cm de brita graduada simples e 44 cm de macadame seco.

Tabela 5-7 – Estrutura final dimensionada - MeDiNa

Estrutura Dimensionada - MeDiNa					
Camada	Material	Espessura	Mês	Área Trincada	ATR (mm)
Revestimento	Concreto Asfáltico Borracha	8,0	120	29,33%	3,02
Revestimento	Concreto Asfáltico Borracha	10,0			
Base	Brita Graduada Simples	15,0			
Sub-Base	Macadame	20,0			
Sub-Base	Macadame	24,0			

Fonte: Autora

Comparando com a estrutura dimensionada inicialmente pelo método DNER-81, a espessura do revestimento asfáltico obteve uma diferença de 10,5 cm e em relação ao método MeDiNa. Já comparando a estrutura final obtida através das análises das tensões do ELSYM, observou-se uma diferença de 3,0 cm. Pode-se notar que a camada de revestimento foi a que única que sofreu alteração, haja visto que tanto na análise das tensões e deformações no ELSYM quanto no MeDiNA as camadas granulares atenderam todas as solicitações de carga sofridas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho em questão tinha como objetivo principal comparar as diferentes metodologias de dimensionamento, DNER-81, análise mecanicista com a utilização do software ELSYM-5, com o novo método MEDINA. Sendo assim, foi definido um trecho de conformação geométrica de uma agulha de integração à BR-101, que durante a pesquisa já havia sido executado.

Após as análises feitas, aferiu-se que o método de dimensionamento DNER-81 utilizado não atende as condições impostas pelo novo método, posto que o método preconizado pelo Eng. Murilo não considera as características geomecânicas dos materiais empregados no dimensionamento, como os módulos de resiliência e coeficiente de Poisson. Ainda, para o método DNER-81 os cálculos foram feitos fielmente ao método e, no entanto, foram desfavoráveis às análises realizadas, tanto através da utilizando as curvas de fadiga tanto quanto ao MeDiNa.

Todavia, para a elaboração da pesquisa alguns dados foram retirados de bibliografias os resultados são validos, haja vista que foram utilizados os mesmos módulos para todas as metodologias analisadas permitindo que haja a possibilidade de comparar os resultados mesmo que in situ tenham outros valores.

A partir disso, é possível concluir que

1. Existe uma grande diferença entre os métodos de dimensionamentos estudados, haja vista que o método DNER-81 não contempla os critérios de fadiga e área trincada, que são o ponto principal do dimensionamento mecanístico-empírico.
2. O valor número de solicitações do eixo padrão (N) – 8,2t é um valor importante para todos os métodos de dimensionamento, visto que ele expressa o valor da carga que será aplicada no pavimento.
3. Comparando as tensões e deformações obtidas pelo software Elsym-5 com o MeDiNA infere-se que as obtidas pelo segundo software são maiores, visto que o programa considera as camadas do pavimento como uma estrutura não aderida, logo, além da carga aplicada vinda do tráfego de veículos, é considerado o atrito entre as camadas do pavimento, ocasionando tensões e deformações maiores no pavimento em comparação ao Elsym-5.
4. Os afundamentos de trilha de roda tendem a ser maiores em estruturas mais espessas, tendo em conta que o pavimento é constituído por múltiplas camadas e deformação total provém do acúmulo de deformações de todas as camadas, logo quanto maior as camadas maiores o afundamento.
5. O método de dimensionamento DNER-81, comparando com os critérios impostos pelo método mecanístico-empírico obtêm-se uma estrutura subdimensionada para as condições de tráfego atuais.

Sugestões para trabalhos futuros:

1. Dimensionar uma nova estrutura considerando uma base cimentada afim de enrijecer a estrutura e diminuir a espessura do revestimento.
2. Avaliar a utilização de materiais disponíveis na região, a fim de obter materiais com maiores qualidades geotécnicas a fim de reduzir as espessuras do pavimento e diminuir o consumo de material.
3. Elaborar uma análise econômica a longo prazo, comparando a mesma estrutura dimensionada pelo método DNER-81 e pelo MeDiNA, considerando todas as

intervenções necessárias para restauração do pavimento ao longo da sua vida útil, afim de determinar qual o impacto econômico gerado pelo novo método.

4. Comparação do dimensionamento de reforço ou tratamentos superficiais, elaborando um dimensionamento seguindo as normativas do manual DNER- PRO 269/94 e DNER-PRO 11/79 com o novo software.

5. Elaborar um monitoramento dos defeitos ao longo dos anos e fazer a comparação com as previsões calculadas através do software MeDiNa.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTERIS, **Especificação Particular, Macadame Seco – MS**, Disponível em:< ARTERIS-ES-011.-Macadame-Seco-MS-REV.-6.pdf>. Acesso em: 27 de nov. 2022.

ARTERIS. **DETERMINAÇÃO DAS DEFLEXÕES PELA VIGA BENKELMAN**: designação - arteris me- 024-94. Brasília: C D T - Centro de Desenvolvimento Tecnológico, 2015. 8 p. Disponível em: <https://www.arteris.com.br/documents/111/ME-Determina%C3%A7%C3%A3o-das-deflex%C3%B5es-por-viga-benkelman.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2023.

ATUAL, Agência Cnt Transporte. **CNT lança painel com dados do transporte rodoviário no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-lanca-painel-com-dados-do-transporte-rodoviario-no-brasil>. Acesso em: 27 jul. 2023.

ATUAL, Agência Cnt Transporte. **Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-divulga-estudo-por-que-pavimento-rodovias-brasil-nao-duram-resultados>. Acesso em: 23 jul. 2023.

ATUAL, Agência Cnt Transporte. **Brasil tem método antigo para dimensionar o pavimento**. 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/brasil-tem-metodo-antigo-para-dimensionar-o-pavimento>. Acesso em: 23 jul. 2023.

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

BERNUCCI, L.B; MOTTA, L.M.G; CERATTI, J.A.P; SOARES, J.B. **“PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: Formação básica para Engenheiros”**. Rio de Janeiro, 2008.

BIEDACHA, Marina Myszak. **DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO PELO MÉTODO DNER E COMPARATIVO COM O ATUAL MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO MEDINA**. 2020. 132 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020.

BRANCO, F.; SANTOS, L. P.; PEREIRA, P. **Pavimentos rodoviários**. São Paulo: Almedina, 2016.

Brown, S. F.; Pell, P. S.; Stock, A. F. **The Application of Simplified, Fundamental Design Procedures for Flexible Pavements**. The University of Michigan, 1977.

CARMO, C. A. T. do. **A avaliação do módulo de resiliência através de ensaios triaxiais dinâmicos de dois solos compactados e a sua estimativa a partir de ensaios rotineiros**. [s.l.],p.154,1998.Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-14032018->.

CAVA, Felipe. **Como obter o Módulo de Resiliência e Coeficiente de Poisson**. 2018. Disponível em: <https://alemdainercia.com/2018/10/17/como-obter-o-modulo-de-resiliencia-e-coeficiente-de-poisson/#:~:text=O%20coeficiente%20de%20Poisson%20%C3%A9,um%20ensaio%20de%20o%20compress%C3%A3o%20uniaxial..> Acesso em: 22 jul. 2023.

DNIT. **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:< https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/ipr_719_manual_de_pavimentacao_versao_corrigda_errata_1.pdf>. Acesso em: 07 de set 2022.

DNIT. **Manual de Restauração de pavimentos asfálticos** 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:< https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/720_manual_restauracao_pavimentos_afalticos.pdf>. Acesso em: 07 set 2022.

DNIT/IPR. **GUIA PARA EXECUÇÃO DE SEGMENTOS EXPERIMENTAIS – PRO-MeDiNa**. Brasília: Publicação Ipr - 749, 2020. 65 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/pro-medina/ipr_749_guia_pro-medina.pdf. Acesso em: 18 jul. 2023.

ESTADÃO: Modal rodoviário é o mais utilizado no Brasil. São Paulo, 2 set. 2022. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/ir-e-vir-no-mundo/modal-rodoviario-e-o-mais-utilizado-no-brasil/#:~:text=Uma%20pesquisa%20dos%20Custos%20Log%C3%ADsticos,por%20meio%20do%20modal%20rodovi%C3%A1rio..> Acesso em: 23 jul. 2023.

FERNANDES, I. S. **Avaliação do comportamento mecânico da camada de brita graduada “in situ”**. 2000. 199 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FERREIRA, Felipe de Almeida. **ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS UTILIZANDO O PROGRAMA SISPAVBR**. 2013. 125 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/11533/1/monopoli10009006.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2023.

FONTES, L. P. T. da L. **Optimização do desempenho de misturas betuminosas com betume modificado com borracha para reabilitação de pavimentos**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

GUIMARÃES, Guilherme L. Neto. **Estudo comparativo entre a pavimentação flexível e rígida** – Monografia - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade da Amazônia, 2011

HUANG, Y. H. **Pavements analysis and design**. Prentice-Hall Inc. New Jersey, 2003.

KNABBEN, Ramon Mendes *et al.* **COMO USAR O SOFTWARE MEDINA: o guia prático para a utilização do software medina de dimensionamento de pavimentos flexíveis**. Criciúma: Método Medina, 2021. 42 p.

Manual de Pavimentação. DNIT. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:< https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/ipr_719_manual_de_pavimentacao_versao_corrigda_errata_1.pdf>. Acesso em: 07 de set 2022.

Manual de Restauração de pavimentos asfálticos. DNIT. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:< https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/720_manual_restauracao_pavimentos_afalticos.pdf>. Acesso em: 07 set 2022.

MARCACCINI. **Estudo Experimental de Laboratório para emprego da escória de aciaria como agregado em camadas de base de pavimento flexível.** Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

MARQUES, G.L.O., 2010, **Notas de Aula da Disciplina Pavimentação.** Versão: 06.2, 210 p. Juiz de Fora-MG.

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

PAVIMENTAÇÃO, **Brita Graduada, Especificações de Serviços Rodoviários,** DER/PR. Disponível em:< es-p05-18britagraduada.pdf (der.pr.gov.br)> . Acesso em: 15 de out. 2022.

PAVIMENTO, IP-08/2004 – **Análise Mecanicista à Fadiga de Estruturas de Pavimento,** Prefeitura de São Paulo. Disponível em : https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/arquivos/SMSO%202018/NORMAS%20TECNICAS%20DE%20PAVIMENTACAO/INSTRUCAO%20DE%20PROJETOS/ip_08_2004_analise_mecanicista_a_fadiga_de_estruturas_de_pavimento.pdf. Acesso em: 05 de nov. 2022.

PINTO, S; PREUSSLER, E. **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis.** Rio de Janeiro, 2002.

PINTO. **Estudo do comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos.** Tese de Doutorado apresentadas à COPE – UFRJ. Rio de Janeiro, 1991.

SOARE, Raniere. **ANÁLISE DO TRÁFEGO DA BR – 104 PARA DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N NO PERÍODO DE MAIOR FLUXO, TRECHO TORITAMA/CARUARU, SEGUNDO NORMAS DO (DNIT).** 2014. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Núcleo de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, 2014.

SOUSA. **Dimensionamento de Estruturas de Pavimento: Aplicação do Método DNER (1981) e do Método MeDiNa.** Trabalho de conclusão de curso em

Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Florianópolis, 2019.

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

SOUZA, Murillo Lopes de. **Pavimentação rodoviária**. 2. ed Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1980. 361 p. ISBN 85-216-0102-6.

SOUZA, Murilo Lopes de. **A problemática do dimensionamento de pavimentos**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1972. 105 p., il. (Instituto Pesquisas rodoviárias, publicação 594)

TERRESTRES, Agência Nacional de Transportes – ANTT. Projeto de Implantação da Terceira Faixa – Pista Norte km 200+450 ao km 216+00. Memória de Cálculo de Dimensionamento de Restauração de Pavimentos dos Acostamentos Existentes e Implantação de Pavimentos Novos - MC-07-101/SC-200-4-P09/501.

APÊNDICE A – ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

INTRODUÇÃO	Objetivo Geral	Objetivos Específicos	Estrutura do Trabalho					
REFERENCIAL TEÓRICO	Pavimento	DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	Método DNER-81	ELSYM-5	MEDINA	CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	Caracterização do Local	Estudo de tráfego
MÉTODOD DA PESQUISA	Dimensionamento pelo método DNER (1981)	Análise Mecanista com ELSYM-5	Dimensionamento pelo método Medina					
ANÁLISES E RESULTADOS	Dimensionamento do Pavimento pelo método DNER - 81	Verificação das tensões por curvas de fadiga	Dimensionamento do Pavimento pelo método Medina					
CONCLUSÕES	Considerações Finais	Sugestões para trabalhos futuros						
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E APÊNDICES								

APÊNDICE B – ELSYM-5 – 7,5 cm

ITEM	CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA	COEF. POISSON	MODULO DE ELASTICIDADE(kgf/cm ²)
Aguilha km 204+000					
01	REVESTIMENTO	CBUQ	7,5	0,30	49800
02	BASE	BGS	15	0,35	3110
03	SUB-BASE	MS	44	0,35	2000
04	SUBLEITO	-	-	0,45	667

DADOS PARA ATRÁFEG PESADO

```

ELASTIC LAYER DATA
Number of layers: 4
Layer (top to bottom)  Thickness (inches)  Poisson's Ratio  Modulus of Elasticity
1          7.50          .30          49800.00
2          15.00          .35          3110.00
3          44.00          .35          2000.00
4           .00          .45          667.00
Note: Enter Zero thickness when bottom layer is seal-infinite.
                
```

```

Displacements
XP  YP  UX  UY  UZ
.00 .00 .132E-02 .000E+00 .459E-01
16.00 .00 .000E+00 .000E+00 .454E-01
RESULTS MENU FOR ELSYM5
LAYER = 1  Z = .00
1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer
Selection ==> _
                
```

DADOS PAR CARREGAMENTO

```

LOAD DATA
Enter two of the following, the third is calculated.
Load: 2050.00lbs  Pressure: 5.60 psi  Load Radius: .00inches
Number of load locations: 2
Location number = 1  Coordinates X = .00  Y = .00
2  32.00  .00
                
```

```

Normal Strains          Shear Strains
XP  YP  EXX  EYY  EZZ  EXY  EZX  EYZ
.00 .00 .144E-03 .200E-03 -.185E-03 .000E+00 .100E-04 .000E+00
16.00 .00 -.648E-04 .188E-03 -.749E-04 .000E+00 .000E+00 .000E+00
Principal -- Strains          Shear Strains
XP  YP  PE 1  PE 2  PE 3  PSE1  PSE2  PSE3
.00 .00 .200E-03 .144E-03 -.185E-03 .393E-03 .642E-04 .329E-03
16.00 .00 .188E-03 -.648E-04 -.749E-04 .263E-03 .253E-03 .101E-04
RESULTS MENU FOR ELSYM5
LAYER = 1  Z = 7.50
1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer
                
```

DADOS DOS PONTOS DE ANÁLISE

```

EVALUATION LOCATION DATA
Results are evaluated for all combinations of X-Y coordinates and
Depths of Z.
Number of X-Y positions: 2
Number of Z position: 3
Position X  Y  Position Z
1 .00 .00 1 .00
2 16.00 .00 2 7.50
3 3 66.50
                
```

```

Normal Stresses          Shear Stresses
XP  YP  SXX  SYX  SZZ  SWX  SWZ  SYZ
.00 .00 .230E+00 .261E+00 -.172E+00 .000E+00 .259E-01 .000E+00
16.00 .00 .259E+00 .280E+00 -.182E+00 .000E+00 .000E+00 .000E+00
Principal -- Stresses          Shear Stresses
XP  YP  PS1  PS2  PS3  PSS1  PSS2  PSS3
.00 .00 .261E+00 .231E+00 -.174E+00 .217E+00 .148E-01 .282E+00
16.00 .00 .280E+00 .259E+00 -.182E+00 .231E+00 .103E-01 .220E+00
RESULTS MENU FOR ELSYM5
LAYER = 3  Z = 66.50
1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer
Selection ==> _
                
```

APÊNDICE C – ELSYM-5 – 10,0 cm

ITEM	CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA	COEF. POISSON	MODULO DE ELASTICIDADE(kgf/cm ²)
Aguilha km 204+000					
01	REVESTIMENTO	CBUQ	10	0,30	49000
02	BASE	BGS	15	0,35	3110
03	SUB-BASE	MS	44	0,35	2000
04	SUBLEITO	-	-	0,45	667

DADOS PARA ATRÁFEG PESADO

Number of layers: 4

Layer Number	(top to bottom)	Thickness (Inches)	Poisson's Ratio	Modulus of Elasticity
1		10.00	.30	49000.00
2		15.00	.35	3110.00
3		44.00	.35	2000.00
4		.00	.45	667.00

*Note: Enter Zero thickness when bottom layer is semi-infinite.

```

Displacements
XP  VP  UX  UY  UZ
.00  .00  .132E-02  .000E+00  .413E-01
16.00  .00  .000E+00  .000E+00  .412E-01

RESULTS MENU FOR ELSYM
LAYER = 1  Z = .00
1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==>
    
```

DADOS PAR CARREGAMENTO

```

LOAD DATA
Enter two of the following, the third is calculated.
Load: 2050.00lbs Pressure: 5.60 psi Load Radius: .00inches
Number of load locations: 2
Location number = 1 Coordinates X = .00 Y = .00
2 32.00 .00
    
```

```

Normal Strains
XP  VP  UX  UY  UZ
.00  .00  .117E-03  .176E-03  .149E-03
16.00  .00  .823E-05  .167E-03  .866E-04

Principal -- Strains
XP  VP  PE 1  PE 2  PE 3
.00  .00  .176E-03  .117E-03  .149E-03
16.00  .00  .167E-03  .823E-05  .866E-04

Shear Strains
XP  VP  UX  UY  UZ
.00  .00  .117E-03  .176E-03  .149E-03
16.00  .00  .823E-05  .167E-03  .866E-04

RESULTS MENU FOR ELSYM
LAYER = 1  Z = 10.00
1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer
    
```

DADOS DOS PONTOS DE ANÁLISE

```

EVALUATION LOCATION DATA
Results are evaluated for all combinations of X-Y coordinates and
depths of Z.
Number of X-Y positions: 2
Number of Z position: 3
Position X Y Position Z
1 .00 .00 1 .00
2 16.00 .00 2 10.00
3 32.00 .00 3 69.00
    
```

```

Normal Stresses
XP  VP  SXX  SYY  SZZ
.00  .00  .285E+00  .230E+00  -.154E+00
16.00  .00  .229E+00  .244E+00  -.161E+00

Principal -- Stresses
XP  VP  PS1  PS2  PS3
.00  .00  .230E+00  .287E+00  -.155E+00
16.00  .00  .244E+00  .229E+00  -.161E+00

Shear Stresses
XP  VP  SXY  SZX  SYZ
.00  .00  .000E+00  .210E-01  .000E+00
16.00  .00  .000E+00  .771E-02  .195E+00

RESULTS MENU FOR ELSYM
LAYER = 3  Z = 69.00
1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==>
    
```

APÊNDICE D – ELSYM-5 12,5 cm

CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA	COEF. POISSON	MODULO DE ELASTICIDADE(kgf/cm ²)
Agulha km 204+000				
REVESTIMENTO	CBUQ	12,5	0,30	49800
BASE	BGS	15	0,35	3110
SUB-BASE	MS	44	0,35	2000
SUBLEITO	-	-	0,45	667

DADOS PARA ATRÁFEG PESADO

```

ELASTIC LAYER DATA
Number of layers: 4

```

Layer number	Thickness (inches)	Poisson's Ratio	Modulus of Elasticity
1	12.50	.30	49800.00
2	15.00	.35	3110.00
3	44.00	.35	2000.00
4	.00	.45	667.00

*Note: Enter Zero thickness when bottom layer is semi-infinite.

```

Displacements
XP  YP  IX  IY  IZ
.00  .00  .125E-02  .000E+00  .377E-01
16.00  .00  .000E+00  .000E+00  .375E-01

RESULTS MENU FOR ELSYM5
-----
LAYER = 1  Z = .00

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection ==>

```

DADOS PAR CARREGAMENTO

```

LOAD DATA
Enter two of the following, the third is calculated.
Load: 2050.00lbs Pressure: 5.60 psi Load Radius: .00inches
Number of load locations: 2
Location number = 1 Coordinates X = .00 Y = .00
2 32.00 .00

```

```

Normal Strains      Shear Strains
XP  YP  IX  IY  IZ  EXX  EYY  EZZ  EXY  EYZ
.00  .00  .970E-04  .147E-03  -.123E-03  .000E+00  .911E-05  .000E+00
16.00  .00  .195E-04  .144E-03  -.854E-04  .000E+00  .000E+00  .000E+00

Principal -- Strains      Shear Strains
XP  YP  PE 1  PE 2  PE 3  PSE1  PSE2  PSE3
.00  .00  .147E-03  .971E-04  -.123E-03  .270E-03  .498E-04  .220E-03
16.00  .00  .144E-03  .195E-04  -.854E-04  .230E-03  .125E-03  .105E-03

RESULTS MENU FOR ELSYM5
-----
LAYER = 1  Z = 12.50

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

```

DADOS DOS PONTOS DE ANÁLISE

```

EMULSION LOCATION DATA
Results are evaluated for all combinations of X-Y coordinates and
Depth of Z.
Number of X-Y positions: 2
Number of Z position: 3

```

Position	X	Y	Position	Z
1	.00	.00	1	.00
2	16.00	.00	2	12.50
			3	71.50

```

Normal Stresses      Shear Stresses
XP  YP  SXX  SYX  SZX  SWX  SWZ  SYZ
.00  .00  .182E+00  .201E+00  -.137E+00  .000E+00  .183E-01  .000E+00
16.00  .00  .201E+00  .213E+00  -.142E+00  .000E+00  .000E+00  .000E+00

Principal -- Stresses      Shear Stresses
XP  YP  PS1  PS2  PS3  PSS1  PSS2  PSS3
.00  .00  .201E+00  .183E+00  -.138E+00  .169E+00  .892E-02  .161E+00
16.00  .00  .213E+00  .201E+00  -.142E+00  .177E+00  .504E-02  .171E+00

RESULTS MENU FOR ELSYM5
-----
LAYER = 3  Z = 71.50

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

```


APÊNDICE F – ELSYM-5 15,0 cm

CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA	COEF. POISSON	MODULO DE ELASTICIDADE(kg/cm ²)
Aguilha km 204+000				
REVESTIMENTO	CBUQ	15	0,30	49800
BASE	BGS	15	0,35	3110
SUB-BASE	MS	44	0,35	2000
SUBLEITO	-	-	0,45	667

DADOS PARA ATRÁFEG PESADO

ELASTIC LAYER DATA

Number of layers: **4**

Layer Number	(top to bottom)	Thickness (inches)	Poisson's Ratio	Modulus of Elasticity
1		15.00	.30	49800.00
2		15.00	.35	3110.00
3		44.00	.35	2000.00
4		.00	.45	667.00

*Note: Enter Zero thickness when bottom layer is semi-infinite.

Displacements

XP	YP	UX	UY	UZ
.00	.00	.114E-02	.000E+00	.347E-01
16.00	.00	.000E+00	.000E+00	.344E-01

RESULTS MENU FOR ELSYM5

LAYER = 1 Z = .00

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

Selection -->

DADOS PAR CARREGAMENTO

LOAD DATA

Enter two of the following, the third is calculated.

Load: **2050.00** lbs Pressure: **5.60** psi Load Radius: **.00** inches

Number of load locations: **2**

Location number =	Coordinates	X =	Y =
1		.00	.00
2		32.00	.00

Normal Strains Shear Strains

XP	YP	EXX	EYY	EZZ	ENY	ENZ	EYZ
.00	.00	.818E-04	.123E-03	-.102E-03	.000E+00	.784E-05	.000E+00
16.00	.00	.338E-04	.124E-03	-.797E-04	.000E+00	.000E+00	.000E+00

Principal -- Strains Shear Strains

XP	YP	PE 1	PE 2	PE 3	PSE1	PSE2	PSE3
.00	.00	.123E-03	.819E-04	-.102E-03	.226E-03	.415E-04	.194E-03
16.00	.00	.124E-03	.338E-04	-.797E-04	.204E-03	.911E-04	.113E-03

RESULTS MENU FOR ELSYM5

LAYER = 1 Z = 15.00

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

DADOS DOS PONTOS DE ANÁLISE

EVALUATION LOCATION DATA

Results are evaluated for all combinations of X-Y coordinates and Depths of Z.

Number of X-Y positions: **2**

Number of Z position: **3**

Position	X	Y	Position	Z
1	.00	.00	1	.00
2	16.00	.00	2	15.00
			3	74.00

Normal Stresses Shear Stresses

XP	YP	SXX	SYX	SZZ	SXY	SXZ	SYZ
.00	.00	.161E+00	.176E+00	-.122E+00	.000E+00	.153E-01	.000E+00
16.00	.00	.176E+00	.105E+00	-.125E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00

Principal -- Stresses Shear Stresses

XP	YP	PS1	PS2	PS3	PSS1	PSS2	PSS3
.00	.00	.176E+00	.162E+00	-.123E+00	.149E+00	.700E-02	.142E+00
16.00	.00	.105E+00	.176E+00	-.125E+00	.155E+00	.449E-02	.151E+00

RESULTS MENU FOR ELSYM5

LAYER = 3 Z = 74.00

1. - Stresses Normal & Shear & Principal
2. - Strains Normal & Shear & Principal
3. - Displacements
4. - Return or Continue with Next Layer

APÊNDICE G – ANÁLISE DA ESTRUTURA – DNER

APÊNDICE H – DIMENSIONAMENTO MEDINA HIPÓTESE 1

APÊNDICE I – DIMENSIONAMENTO MEDINA HIPÓTESE 2

APÊNDICE J – DIMENSIONAMENTO MEDINA HIPÓTESE 3

APÊNDICE K – DIMENSIONAMENTO MEDINA HIPÓTESE 4

APÊNDICE L – DIMENSIONAMENTO MEDINA

Análise do pavimento

Empresa:

Nome do Projeto: **Agulha km 204+000 - BR 101**

Responsável pelo projeto: **Rafaela Abreu**

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 **25/07/2023 às 02:27:14** 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: **7,3mm**

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	7,5	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C4	15,0	Resiliente Linear MR = 311 MPa	0,35
3	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	20,0	Resiliente Linear MR = 200 MPa	0,35
4	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	24,0	Resiliente Linear MR = 200 MPa	0,35
5	SUBLEITO Subleito	SL	Resiliente Linear MR = 67 MPa	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 CD (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: **≥ 281** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: **≥ 760** ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C4

Propriedades

Descrição do Material = Brita Graduada
 Massa específica (g/cm³) = 2,296
 Umidade Ótima (%) = 5,4
 Energia Compactação = Modificada
 Abrasão Los Angeles (%) = 41,0
 Norma ou Especificação = DNIT ES 141

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = \psi_1 \cdot (s_3^{\psi_2}) \cdot (sd^{\psi_3}) \cdot (N^{\psi_4})$
 Coeficiente de Regressão (k1 ou ψ_1): **0,1010**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou ψ_2): **-0,1825**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou ψ_3): **0,9091**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou ψ_4): **0,0753**

3 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco

Propriedades

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

Modelos

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

4 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco

Propriedades

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

Modelos

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

5 - SUBLEITO: Subleito

Propriedades

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

Modelos

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

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **285**
 Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **8,22**
 Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **8,56e+05**
 % Veículos na faixa de projeto: **100%**
 Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **8,56e+05**
 Taxa de crescimento do tráfego: **3,0%**
 Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **9,81e+06**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Dois eixos simples (direcional)	8%	12,00	10,288	0,823
2	Eixo simples de roda dupla	12%	10,00	3,289	0,395
3	Dois eixos duplos em tandem	25%	17,00	8,549	2,137

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
4	Dois eixos duplos	5%	15,00	4,303	0,215
5	Três eixos duplos em tandem	50%	25,50	9,300	4,650

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	7,037e+04	2,62%	5,4
6	4,248e+05	5,56%	6,0
12	8,560e+05	8,29%	6,3
18	1,294e+06	11,21%	6,5
24	1,738e+06	14,54%	6,6
30	2,188e+06	18,41%	6,7
36	2,646e+06	22,88%	6,7
42	3,110e+06	27,98%	6,8
48	3,581e+06	33,71%	6,8
54	4,059e+06	40,00%	6,9
60	4,545e+06	46,77%	6,9
66	5,037e+06	53,88%	7,0
72	5,537e+06	61,20%	7,0
78	6,044e+06	68,54%	7,1
84	6,559e+06	75,75%	7,1
90	7,082e+06	82,67%	7,1
96	7,612e+06	89,16%	7,2
102	8,150e+06	95,11%	7,2
108	8,696e+06	99,00%	7,2
114	9,251e+06	99,00%	7,2
120	9,813e+06	99,00%	7,3

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	1,50
3	MATERIAL GRANULAR	2,35
4	MATERIAL GRANULAR	2,07
5	SUBLEITO	1,35
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		7,3

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

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	75	64	51	40	27	21	17	15
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	91	72	59	44	33	20	13	10	8

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C4

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	101	79	65	50	39	27	20	17	15

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

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	101	78	64	49	38	26	20	17	15

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

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	101	77	63	47	37	25	20	17	15

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

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	139	87	64	44	34	25	20	17	15

Análise do pavimento

Empresa:

Nome do Projeto: **Agulha km 204+000 - BR 101**

Responsável pelo projeto: **Rafaela Abreu**

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 **25/07/2023 às 02:31:32** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **88,2%**.

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **5,9mm**

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	10,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C4	15,0	Resiliente Linear MR = 311 MPa	0,35
3	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	20,0	Resiliente Linear MR = 200 MPa	0,35
4	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	24,0	Resiliente Linear MR = 200 MPa	0,35
5	SUBLEITO Subleito	SL	Resiliente Linear MR = 67 MPa	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 CD (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: **≥ 281** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: **≥ 760** ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C4

Propriedades

Descrição do Material = Brita Graduada
 Massa específica (g/cm³) = 2,296
 Umidade Ótima (%) = 5,4
 Energia Compactação = Modificada
 Abrasão Los Angeles (%) = 41,0
 Norma ou Especificação = DNIT ES 141

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = \psi_1 \cdot (s_3^{\psi_2}) \cdot (sd^{\psi_3}) \cdot (N^{\psi_4})$
 Coeficiente de Regressão (k1 ou ψ_1): **0,1010**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou ψ_2): **-0,1825**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou ψ_3): **0,9091**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou ψ_4): **0,0753**

3 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco

Propriedades

Descrição do Material = Macadame Seco
 Massa específica (g/cm³) = 1.8
 Umidade Ótima (%) = 13
 Energia Compactação = Normal
 Abrasão Los Angeles (%) = ...
 Faixa Granulométrica = ...
 Norma ou Especificação = DNIT ES 137

Modelos

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

4 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco

Propriedades

Descrição do Material = Macadame Seco
 Massa específica (g/cm³) = 1.8
 Umidade Ótima (%) = 13
 Energia Compactação = Normal
 Abrasão Los Angeles (%) = ...
 Faixa Granulométrica = ...
 Norma ou Especificação = DNIT ES 137

Modelos

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

5 - SUBLEITO: Subleito

Propriedades

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

Modelos

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

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **285**
 Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **8,22**
 Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **8,56e+05**
 % Veículos na faixa de projeto: **100%**
 Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **8,56e+05**
 Taxa de crescimento do tráfego: **3,0%**
 Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **9,81e+06**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Dois eixos simples (direcional)	8%	12,00	10,288	0,823
2	Eixo simples de roda dupla	12%	10,00	3,289	0,395
3	Dois eixos duplos em tandem	25%	17,00	8,549	2,137

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
4	Dois eixos duplos	5%	15,00	4,303	0,215
5	Três eixos duplos em tandem	50%	25,50	9,300	4,650

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	7,037e+04	2,38%	4,4
6	4,248e+05	4,89%	4,9
12	8,560e+05	7,04%	5,1
18	1,294e+06	9,17%	5,2
24	1,738e+06	11,49%	5,3
30	2,188e+06	14,07%	5,4
36	2,646e+06	16,99%	5,4
42	3,110e+06	20,27%	5,5
48	3,581e+06	23,95%	5,5
54	4,059e+06	28,04%	5,6
60	4,545e+06	32,52%	5,6
66	5,037e+06	37,39%	5,6
72	5,537e+06	42,60%	5,7
78	6,044e+06	48,10%	5,7
84	6,559e+06	53,82%	5,7
90	7,082e+06	59,68%	5,7
96	7,612e+06	65,61%	5,8
102	8,150e+06	71,51%	5,8
108	8,696e+06	77,29%	5,8
114	9,251e+06	82,87%	5,8
120	9,813e+06	88,19%	5,9

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	1,20
3	MATERIAL GRANULAR	1,86
4	MATERIAL GRANULAR	1,71
5	SUBLEITO	1,09
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		5,9

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	79	69	61	50	41	28	21	17	15
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	77	64	55	43	33	20	14	10	8

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C4

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	101	79	65	50	39	27	20	17	15

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

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	101	78	64	49	38	26	20	17	15

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

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	101	77	63	47	37	25	20	17	15

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

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	139	87	64	44	34	25	20	17	15

Análise do pavimento

Empresa:

Nome do Projeto: **Agulha km 204+000 - BR 101**

Responsável pelo projeto: **Rafaela Abreu**

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 **25/07/2023 às 02:32:39** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **63,7%**.

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

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	12,5	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C4	15,0	Resiliente Linear MR = 311 MPa	0,35
3	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	20,0	Resiliente Linear MR = 200 MPa	0,35
4	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	24,0	Resiliente Linear MR = 200 MPa	0,35
5	SUBLEITO Subleito	SL	Resiliente Linear MR = 67 MPa	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 CD (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: **≥ 281** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: **≥ 760** ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C4

Propriedades

Descrição do Material = Brita Graduada
 Massa específica (g/cm³) = 2,296
 Umidade Ótima (%) = 5,4
 Energia Compactação = Modificada
 Abrasão Los Angeles (%) = 41,0
 Norma ou Especificação = DNIT ES 141

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = \psi_1 \cdot (s_3^{\psi_2}) \cdot (sd^{\psi_3}) \cdot (N^{\psi_4})$
 Coeficiente de Regressão (k1 ou ψ_1): **0,1010**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou ψ_2): **-0,1825**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou ψ_3): **0,9091**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou ψ_4): **0,0753**

3 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco

Propriedades

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

Modelos

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

4 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco

Propriedades

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

Modelos

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

5 - SUBLEITO: Subleito

Propriedades

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

Modelos

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

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **285**
 Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **8,22**
 Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **8,56e+05**
 % Veículos na faixa de projeto: **100%**
 Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **8,56e+05**
 Taxa de crescimento do tráfego: **3,0%**
 Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **9,81e+06**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Dois eixos simples (direcional)	8%	12,00	10,288	0,823
2	Eixo simples de roda dupla	12%	10,00	3,289	0,395
3	Dois eixos duplos em tandem	25%	17,00	8,549	2,137

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
4	Dois eixos duplos	5%	15,00	4,303	0,215
5	Três eixos duplos em tandem	50%	25,50	9,300	4,650

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	7,037e+04	2,16%	3,5
6	4,248e+05	4,31%	3,9
12	8,560e+05	6,03%	4,1
18	1,294e+06	7,64%	4,2
24	1,738e+06	9,29%	4,2
30	2,188e+06	11,06%	4,3
36	2,646e+06	13,00%	4,3
42	3,110e+06	15,12%	4,4
48	3,581e+06	17,46%	4,4
54	4,059e+06	20,03%	4,5
60	4,545e+06	22,86%	4,5
66	5,037e+06	25,94%	4,5
72	5,537e+06	29,28%	4,5
78	6,044e+06	32,89%	4,6
84	6,559e+06	36,74%	4,6
90	7,082e+06	40,82%	4,6
96	7,612e+06	45,11%	4,6
102	8,150e+06	49,58%	4,6
108	8,696e+06	54,20%	4,7
114	9,251e+06	58,92%	4,7
120	9,813e+06	63,70%	4,7

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	0,96
3	MATERIAL GRANULAR	1,47
4	MATERIAL GRANULAR	1,40
5	SUBLEITO	0,86
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		4,7

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	70	63	57	48	41	29	22	18	15
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	66	57	50	41	33	21	15	11	9

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C4

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	101	79	65	50	39	27	20	17	15

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

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	101	78	64	49	38	26	20	17	15

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

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	101	77	63	47	37	25	20	17	15

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

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	139	87	64	44	34	25	20	17	15

Análise do pavimento

Empresa:

Nome do Projeto: **Agulha km 204+000 - BR 101**

Responsável pelo projeto: **Rafaela Abreu**

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 **25/07/2023 às 02:33:48** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **51,2%**.

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **4,1mm**

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	14,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C4	15,0	Resiliente Linear MR = 311 MPa	0,35
3	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	20,0	Resiliente Linear MR = 200 MPa	0,35
4	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	24,0	Resiliente Linear MR = 200 MPa	0,35
5	SUBLEITO Subleito	SL	Resiliente Linear MR = 67 MPa	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 CD (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: **≥ 281** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: **≥ 760** ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C4

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada Massa específica (g/cm³) = 2,296 Umidade Ótima (%) = 5,4 Energia Compactação = Modificada Abrasão Los Angeles (%) = 41,0 Norma ou Especificação = DNIT ES 141	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): 0,1010 Coeficiente de Regressão (k2 ou ψ_2): -0,1825 Coeficiente de Regressão (k3 ou ψ_3): 0,9091 Coeficiente de Regressão (k4 ou ψ_4): 0,0753

3 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Macadame Seco Massa específica (g/cm³) = 1.8 Umidade Ótima (%) = 13 Energia Compactação = Normal Abrasão Los Angeles (%) = ... Faixa Granulométrica = ... Norma ou Especificação = DNIT ES 137	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = \psi_1 \cdot (s_3^{\psi_2}) \cdot (sd^{\psi_3}) \cdot (N^{\psi_4})$ Coeficiente de Regressão (k1 ou ψ_1): 0,31 Coeficiente de Regressão (k2 ou ψ_2): 0,06 Coeficiente de Regressão (k3 ou ψ_3): 0,85 Coeficiente de Regressão (k4 ou ψ_4): 0,05

4 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Macadame Seco Massa específica (g/cm³) = 1.8 Umidade Ótima (%) = 13 Energia Compactação = Normal Abrasão Los Angeles (%) = ... Faixa Granulométrica = ... Norma ou Especificação = DNIT ES 137	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = \psi_1 \cdot (s_3^{\psi_2}) \cdot (sd^{\psi_3}) \cdot (N^{\psi_4})$ Coeficiente de Regressão (k1 ou ψ_1): 0,31 Coeficiente de Regressão (k2 ou ψ_2): 0,06 Coeficiente de Regressão (k3 ou ψ_3): 0,85 Coeficiente de Regressão (k4 ou ψ_4): 0,05

5 - SUBLEITO: Subleito

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Solo arenoso Grupo MCT = NS MCT - Coeficiente $c' = 1,00$ MCT - Índice $e' = 1,68$ Massa específica (g/cm³) = 1,8 Umidade Ótima (%) = 13,0 Energia Compactação = Normal Norma ou Especificação = DNIT ES 137	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = \psi_1 \cdot (s_3^{\psi_2}) \cdot (sd^{\psi_3}) \cdot (N^{\psi_4})$ Coeficiente de Regressão (k1 ou ψ_1): 0,244 Coeficiente de Regressão (k2 ou ψ_2): 0,419 Coeficiente de Regressão (k3 ou ψ_3): 1,309 Coeficiente de Regressão (k4 ou ψ_4): 0,069

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **285**
 Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **8,22**
 Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **8,56e+05**
 % Veículos na faixa de projeto: **100%**
 Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **8,56e+05**
 Taxa de crescimento do tráfego: **3,0%**
 Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **9,81e+06**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Dois eixos simples (direcional)	8%	12,00	10,288	0,823
2	Eixo simples de roda dupla	12%	10,00	3,289	0,395
3	Dois eixos duplos em tandem	25%	17,00	8,549	2,137

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
4	Dois eixos duplos	5%	15,00	4,303	0,215
5	Três eixos duplos em tandem	50%	25,50	9,300	4,650

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	7,037e+04	2,04%	3,1
6	4,248e+05	4,02%	3,4
12	8,560e+05	5,55%	3,6
18	1,294e+06	6,93%	3,7
24	1,738e+06	8,31%	3,7
30	2,188e+06	9,76%	3,8
36	2,646e+06	11,31%	3,8
42	3,110e+06	12,98%	3,9
48	3,581e+06	14,80%	3,9
54	4,059e+06	16,79%	3,9
60	4,545e+06	18,95%	4,0
66	5,037e+06	21,30%	4,0
72	5,537e+06	23,84%	4,0
78	6,044e+06	26,59%	4,0
84	6,559e+06	29,54%	4,0
90	7,082e+06	32,70%	4,1
96	7,612e+06	36,05%	4,1
102	8,150e+06	39,59%	4,1
108	8,696e+06	43,31%	4,1
114	9,251e+06	47,18%	4,1
120	9,813e+06	51,18%	4,1

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	0,84
3	MATERIAL GRANULAR	1,29
4	MATERIAL GRANULAR	1,25
5	SUBLEITO	0,74
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		4,1

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	65	60	55	47	40	29	22	18	15
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	60	53	47	39	32	21	15	11	9

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C4

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	101	79	65	50	39	27	20	17	15

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

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	101	78	64	49	38	26	20	17	15

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

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	101	77	63	47	37	25	20	17	15

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

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	139	87	64	44	34	25	20	17	15

Análise do pavimento

Empresa:

Nome do Projeto: **Agulha km 204+000 - BR 101**

Responsável pelo projeto: **Rafaela Abreu**

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 **25/07/2023 às 02:35:00** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **44,2%**.

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **3,8mm**

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 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	15,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C4	15,0	Resiliente Linear MR = 311 MPa	0,35
3	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	20,0	Resiliente Linear MR = 200 MPa	0,35
4	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	24,0	Resiliente Linear MR = 200 MPa	0,35
5	SUBLEITO Subleito	SL	Resiliente Linear MR = 67 MPa	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 CD (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: **≥ 281** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: **≥ 760** ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C4

Propriedades

Descrição do Material = Brita Graduada
 Massa específica (g/cm³) = 2,296
 Umidade Ótima (%) = 5,4
 Energia Compactação = Modificada
 Abrasão Los Angeles (%) = 41,0
 Norma ou Especificação = DNIT ES 141

Modelos

Ensaio de Deformação Permanente
 Modelo: $ep = \psi_1 \cdot (s_3^{\psi_2}) \cdot (sd^{\psi_3}) \cdot (N^{\psi_4})$
 Coeficiente de Regressão (k1 ou ψ_1): **0,1010**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou ψ_2): **-0,1825**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou ψ_3): **0,9091**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou ψ_4): **0,0753**

3 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco

Propriedades

Descrição do Material = Macadame Seco
 Massa específica (g/cm³) = 1.8
 Umidade Ótima (%) = 13
 Energia Compactação = Normal
 Abrasão Los Angeles (%) = ...
 Faixa Granulométrica = ...
 Norma ou Especificação = DNIT ES 137

Modelos

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

4 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco

Propriedades

Descrição do Material = Macadame Seco
 Massa específica (g/cm³) = 1.8
 Umidade Ótima (%) = 13
 Energia Compactação = Normal
 Abrasão Los Angeles (%) = ...
 Faixa Granulométrica = ...
 Norma ou Especificação = DNIT ES 137

Modelos

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

5 - SUBLEITO: Subleito

Propriedades

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

Modelos

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

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **285**
 Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **8,22**
 Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **8,56e+05**
 % Veículos na faixa de projeto: **100%**
 Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **8,56e+05**
 Taxa de crescimento do tráfego: **3,0%**
 Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **9,81e+06**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Dois eixos simples (direcional)	8%	12,00	10,288	0,823
2	Eixo simples de roda dupla	12%	10,00	3,289	0,395
3	Dois eixos duplos em tandem	25%	17,00	8,549	2,137

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
4	Dois eixos duplos	5%	15,00	4,303	0,215
5	Três eixos duplos em tandem	50%	25,50	9,300	4,650

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	7,037e+04	1,96%	2,9
6	4,248e+05	3,85%	3,2
12	8,560e+05	5,26%	3,3
18	1,294e+06	6,52%	3,4
24	1,738e+06	7,77%	3,4
30	2,188e+06	9,05%	3,5
36	2,646e+06	10,40%	3,5
42	3,110e+06	11,85%	3,6
48	3,581e+06	13,40%	3,6
54	4,059e+06	15,09%	3,6
60	4,545e+06	16,91%	3,6
66	5,037e+06	18,89%	3,7
72	5,537e+06	21,02%	3,7
78	6,044e+06	23,32%	3,7
84	6,559e+06	25,79%	3,7
90	7,082e+06	28,44%	3,7
96	7,612e+06	31,26%	3,8
102	8,150e+06	34,26%	3,8
108	8,696e+06	37,42%	3,8
114	9,251e+06	40,75%	3,8
120	9,813e+06	44,21%	3,8

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	0,78
3	MATERIAL GRANULAR	1,19
4	MATERIAL GRANULAR	1,17
5	SUBLEITO	0,68
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		3,8

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

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	63	58	53	46	40	30	23	18	15
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	57	50	45	38	32	22	15	11	9

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaisse C4

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	101	79	65	50	39	27	20	17	15

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

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	101	78	64	49	38	26	20	17	15

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

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	101	77	63	47	37	25	20	17	15

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

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	139	87	64	44	34	25	20	17	15

Dimensionamento do pavimento

Empresa:

Nome do Projeto: **Agulha km 204+000 - BR 101**

Responsável pelo projeto: **Rafaela Abreu**

Seção do pavimento dimensionada 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 **25/07/2023 às 02:38:04** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **29,3%**

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **3,0mm**

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	8,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
2	CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA CAPFLEX B PG 64-22	10,0	Resiliente Linear MR = 4980 MPa	0,30
3	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C4	15,0	Resiliente Linear MR = 311 MPa	0,35
4	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	20,0	Resiliente Linear MR = 200 MPa	0,35
5	MATERIAL GRANULAR Macadame Seco	24,0	Resiliente Linear MR = 200 MPa	0,35
6	SUBLEITO Subleito	SL	Resiliente Linear MR = 67 MPa	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 CD (MPa) = 1,0
Faixa Granulométrica = Faixa B DNIT
Norma ou Especificação = -

Modelos

Ensaio de Fadiga
- Modelo: **$k_1 \cdot (e^t \wedge k_2)$**
- 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: **≥ 281** ciclos
- Condição de Tráfego Severa: **≥ 760** 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 CD (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): **≥ 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: **≥ 281** ciclos
 - Condição de Tráfego Severa: **≥ 760** ciclos

3 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C4**Propriedades**

Descrição do Material = Brita Graduada
 Massa específica (g/cm³) = 2,296
 Umidade Ótima (%) = 5,4
 Energia Compactação = Modificada
 Abrasão Los Angeles (%) = 41,0
 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): **0,1010**
 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): **-0,1825**
 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): **0,9091**
 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): **0,0753**

4 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco**Propriedades**

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

Modelos

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

5 - MATERIAL GRANULAR: Macadame Seco**Propriedades**

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

Modelos

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

6 - SUBLEITO: Subleito**Propriedades**

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

Modelos

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

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **285**
 Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **8,22**
 Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **8,56e+05**

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

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **8,56e+05**

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

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **9,81e+06**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Dois eixos simples (direcional)	8%	12,00	10,288	0,823
2	Eixo simples de roda dupla	12%	10,00	3,289	0,395
3	Dois eixos duplos em tandem	25%	17,00	8,549	2,137
4	Dois eixos duplos	5%	15,00	4,303	0,215
5	Três eixos duplos em tandem	50%	25,50	9,300	4,650

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	7,037e+04	1,77%	2,3
6	4,248e+05	3,40%	2,5
12	8,560e+05	4,57%	2,6
18	1,294e+06	5,56%	2,7
24	1,738e+06	6,50%	2,7
30	2,188e+06	7,43%	2,8
36	2,646e+06	8,38%	2,8
42	3,110e+06	9,37%	2,8
48	3,581e+06	10,40%	2,8
54	4,059e+06	11,49%	2,9
60	4,545e+06	12,65%	2,9
66	5,037e+06	13,89%	2,9
72	5,537e+06	15,20%	2,9
78	6,044e+06	16,61%	2,9
84	6,559e+06	18,11%	2,9
90	7,082e+06	19,70%	3,0
96	7,612e+06	21,41%	3,0
102	8,150e+06	23,22%	3,0
108	8,696e+06	25,14%	3,0
114	9,251e+06	27,18%	3,0
120	9,813e+06	29,33%	3,0

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	MATERIAL GRANULAR	0,61
4	MATERIAL GRANULAR	0,94
5	MATERIAL GRANULAR	0,95
6	SUBLEITO	0,51
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		3,0

Controle por Deflexões

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

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO 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	56	52	49	44	39	30	23	19	16
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	49	44	40	35	30	22	16	12	9

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	79	69	61	50	41	28	21	17	15

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaiss C4

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	101	79	65	50	39	27	20	17	15

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

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	101	78	64	49	38	26	20	17	15

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

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	101	77	63	47	37	25	20	17	15

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

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	139	87	64	44	34	25	20	17	15

APÊNDICE M – ATR (MM) – FIM DA VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO

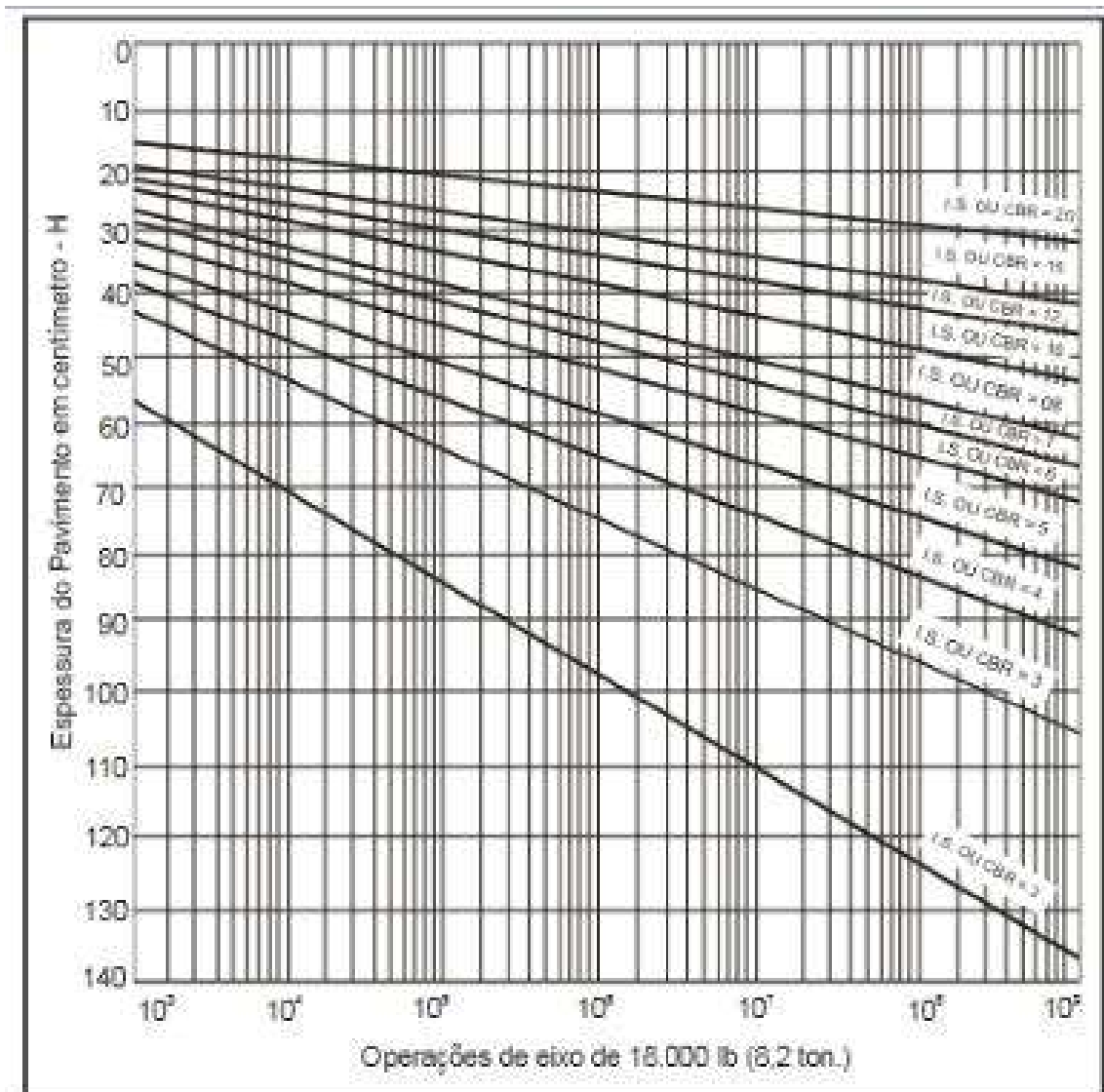
Camada	Afundamento de Trilha de Roda (mm)				
	PAV-7,5	H1	H2	H3	H4
CONCRETO ASFÁLTICO BORRACHA	0	0	0	0	0
MATERIAL GRANULAR	1,47	1,17	0,92	0,8	0
MATERIAL GRANULAR	2,25	1,75	1,37	1,19	0,73
MATERIAL GRANULAR	1,87	1,52	1,24	1,1	1,09
SUBLEITO	0	0	0	0	1,01
TOTAL	5,6	4,4	3,5	3,1	2,8

ANEXO A – COEFICIENTES DE EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL

COMPONENTES DO PAVIMENTO	COEFICIENTE K
Base ou revestimento de concreto asfáltico	2
Base ou revestimento pré-misturado à quente, de graduação densa	1,7
Base ou revestimento pré-misturado à frio, de graduação densa	1,4
Base ou revestimento asfáltico por penetração	1,2
CAMADAS GRANULARES	1
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45Kg/cm ²	1,7
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28Kg/cm ² e 45Kg/cm ²	1,4
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 21Kg/cm ² e 28Kg/cm ²	1,2

FONTE: Manual de Pavimentação. DNIT (2006)

ANEXO B – ÁBADO DE ESPESSURAS DO PAVIMENTO



FONTE: Manual de Pavimentação. DNIT (2006)

ANEXO C – ESPESSURAS MÍNIMAS DE REVESTIMENTO ASFÁLTICO

N	Espessura Mínima de Revestimento Asfáltico
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais asfálticos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Concreto asfáltico com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto asfáltico com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico com 12,5 cm de espessura

FONTE: Manual de Pavimentação - DNIT (2006)

ANEXO D – RESUMO ENSAIOS - PI – 08



CONSULTORIA E ENSAIOS TECNOLÓGICOS PARA A ENGENHARIA CIVIL

RESUMO DOS ENSAIOS																										
EMPREENDIMENTO: RODOVIA BR 101										FOLHA Nº: 01/02																
TRECHO: KM 200+000 AO KM 216+000										DATA DE INÍCIO: 26/05/2016																
SENTIDO: CURITIBA										DATA DE TÉRMINO: 17/06/2016																
										DATA DE EMISSÃO: 20/06/2016																
Amostra	Local (km)	Profundidade (m)	Compactação		Capacidade de Suporte				Energia	Limites			I.G.	Classif. HRB	Classificação MCT		Granulometria (% passando (mm))									
			g _s max. (g/cm³)	h _{at} (%)	CBR (%)	Exp (%)	g _s max. (g/cm³)	hot. (%)		LL (%)	LP (%)	IP (%)			CLASSIF.	PERDA MASSA	9,52	4,76	2,00	1,20	0,60	0,42	0,25	0,15	0,075	
																		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
PI 001	200+220	1,22 - 3,22	1,493	25,4	7,1	2,44			EN	40,7	21,3	19,4	11	A-7-5	NG'		100,0	100,0	100,0	99,41	97,16	94,22	86,35	79,68	71,33	
PI 002	200+640	1,41 - 3,41	1,760	9,0	6,2	0,00			EN	NP	NP	NP	0	A-2-6	NA'		100,0	100,0	100,0	79,15	47,15	35,18	22,92	15,68	10,55	
PI 003	201+080	1,07 - 3,07	1,749	9,1	7,3	0,00			EN	NP	NP	NP	0	A-2-4	NA		100,0	100,0	100,0	74,94	43,04	31,31	19,90	12,29	5,69	
PI 004	201+850	-	ENSAIO NÃO EXECUTADO - MATAÇÃO																							
PI 005	202+220	-	ENSAIO NÃO EXECUTADO - RACHÃO																							
PI 006	202+640	1,59 - 2,00	1,902	11,6	12,1	0,01			EN	NP	NP	NP	2	A-2-6	NA'		100,0	100,0	100,0	87,24	66,88	57,94	45,40	35,53	25,48	
PI 007	203+420	0,95 - 2,95	1,910	11,4	11,3	0,03			EN	NP	NP	NP	2	A-2-6	NA'		100,0	100,0	100,0	86,40	66,48	58,56	46,36	37,00	25,40	
PI 008	204+030	1,47 - 3,47	1,565	23,0	10,9	1,72			EN	NP	NP	NP	9	A-7-5	NG'		100,0	100,0	100,0	95,51	87,61	81,32	74,66	68,14	62,40	
PI 009	204+510	-	ENSAIO NÃO EXECUTADO - RACHÃO																							
PI 010	204+973	0,87 - 2,87	1,839	15,2	12,1	0,18			EN	33,9	24,1	9,8	3	A-4	NA'-NS'		100,0	100,0	100,0	94,82	81,67	74,60	66,14	57,47	49,04	
PI 011	205+190	0,90 - 2,90	1,855	15,2	14,3	0,13			EN	29,2	9,9	19,3	2	A-2-6	NA'-NS'		100,0	100,0	100,0	89,76	75,04	67,17	57,16	46,83	35,16	
PI 012	205+450	0,57 - 2,00	1,555	22,7	8,0	1,34			EN	39,3	21,7	17,6	8	A-7-5	NG'		100,0	100,0	100,0	93,37	83,56	78,69	72,41	66,75	60,51	
PI 013	Alça Rotatória	0,55 - 2,55	1,890	16,2	11,8	0,38			EN	34,2	24,7	9,5	3	A-4	NS'		100,0	100,0	100,0	91,43	79,47	73,26	65,76	59,35	50,88	
PI 014	205+550	0,68 - 2,68	1,840	15,4	12,9	0,16			EN	33,6	24,6	9,0	3	A-4	NA'-NS'		100,0	100,0	100,0	94,78	82,75	76,57	68,12	59,19	48,32	
PI 015	205+970	1,23 - 3,23	1,891	14,1	14,3	0,11			EN	28,3	11,2	17,1	1	A-2-6	NA'-NS'		100,0	100,0	100,0	91,08	71,61	60,75	49,73	41,37	33,13	
PI 016	206+000	0,83 - 2,00	1,856	15,2	12,3	0,13			EN	29,3	9,9	19,4	3	A-2-6	NA'-NS'		100,0	100,0	100,0	91,01	74,45	65,27	55,27	47,18	37,37	
PI 017	207+090	0,93 - 2,93	1,899	14,3	13,9	0,05			EN	28,0	11,5	16,5	1	A-2-6	NA'-NS'		100,0	100,0	100,0	89,86	67,25	55,93	44,92	37,95	32,11	
OBS:									EN = Energia Normal EI = Energia Intermediária EM = Energia Modificada																	



CONSULTORIA E ENSAIOS TECNOLÓGICOS PARA A ENGENHARIA CIVIL

RESUMO DOS ENSAIOS																										
EMPREENDIMENTO: RODOVIA BR 101										FOLHA Nº: 02/02																
TRECHO: KM 200+000 AO KM 216+000										DATA DE INÍCIO: 26/05/2016																
SENTIDO: CURITIBA										DATA DE TÉRMINO: 17/06/2016																
										DATA DE EMISSÃO: 20/06/2016																
Amostra	Local (km)	Profundidade (m)	Compactação		Capacidade de Suporte				Energia	Limites			I.G.	Classif. HRB	Classificação MCT		Granulometria (% passando (mm))									
			g _s max. (g/cm³)	h _{at} (%)	CBR (%)	Exp (%)	g _s max. (g/cm³)	hot. (%)		LL (%)	LP (%)	IP (%)			CLASSIF.	PERDA MASSA	9,52	4,76	2,00	1,20	0,60	0,42	0,25	0,15	0,075	
																			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
PI 018	208+070	0,97 - 2,97	1,880	16,2	10,9	0,55			EN	35,5	25,3	10,2	5	A-4	NS'		100,0	100,0	100,0	93,64	80,73	75,16	69,19	64,72	59,67	
PI 019	208+280	1,20 - 3,20	1,756	9,4	7,1	0,00			EN	NP	NP	NP	0	A-2-6	NA'		100,0	100,0	100,0	84,47	61,09	50,03	35,85	23,38	11,33	
PI 020	209+090	0,64 - 2,64	1,637	12,4	4,3	0,00			EN	NP	NP	NP	0	A-2-4	NA		100,0	100,0	100,0	99,46	99,18	98,90	95,72	87,18	2,27	
PI 021	209+670	-	ENSAIO NÃO EXECUTADO - MATAÇÃO																							
PI 022	210+300	-	ENSAIO NÃO EXECUTADO - MATAÇÃO																							
PI 023	211+420	1,12 - 3,12	1,799	5,1	14,4	0,99			EN	34,6	24,8	9,8	3	A-4	NS'		100,0	100,0	100,0	91,23	77,30	69,12	60,25	54,88	49,42	
PI 024	212+660	1,27 - 3,27	1,899	11,0	11,9	0,05			EN	28,8	10,7	18,1	2	A-2-6	NA'-NS'		100,0	100,0	100,0	87,10	68,72	60,25	50,81	42,89	34,63	
PI 025	213+040	1,50 - 3,50	1,866	14,8	12,3	0,22			EN	29,7	13,5	16,2	2	A-2-6	NA'-NS'		100,0	100,0	100,0	88,43	70,03	61,57	52,39	45,90	39,01	
PI 026	213+660	1,30 - 3,30	1,899	15,1	11,3	0,08			EN	28,5	9,0	19,5	2	A-2-6	NA'-NS'		100,0	100,0	100,0	86,64	69,80	61,09	52,01	44,04	33,10	
PI 027	214+630	1,28 - 3,28	1,736	16,0	15,3	0,05			EN	34,7	24,7	10,0	4	A-4	NS'		100,0	100,0	100,0	93,35	78,12	71,25	63,83	59,21	55,90	
PI 028	215+175	1,35 - 3,35	1,844	16,1	13,2	0,50			EN	33,6	23,6	9,9	2	A-4	NA'-NS'		100,0	100,0	100,0	94,15	76,67	69,54	59,57	53,15	46,11	
PI 029	215+920	1,44 - 3,44	1,847	17,2	14,8	0,22			EN	33,1	24,1	9,0	2	A-4	NA'-NS'		100,0	100,0	100,0	93,12	78,56	70,38	60,37	52,63	43,22	
PI 101	203+340	0,80 - 2,00	1,799	14,2	14,2	0,09			EN	28,3	10,3	18,0	1	A-2-6	NA'-NS'		100,0	100,0	100,0	88,05	70,00	61,28	50,46	40,76	30,73	
PI 102	204+410	0,82 - 2,82	1,591	22,3	10,2	1,38			EN	40,1	22,2	17,9	10	A-7-5	NG'		100,0	100,0	100,0	94,03	86,35	81,31	76,15	72,23	68,61	
PI 103	205+620	1,10 - 2,00	1,888	15,2	14,4	0,19			EN	33,6	23,9	9,7	3	A-4	NA'-NS'		100,0	100,0	100,0	94,25	81,33	73,67	62,93	55,32	48,56	
PI 104	209+540	0,80 - 2,80	1,831	14,9	14,2	0,19			EN	33,3	23,6	9,7	2	A-4	NA'-NS'		100,0	100,0	100,0	92,76	75,43	66,07	56,03	49,61	43,08	
PI 105	210+380	1,02 - 3,02	1,759	9,2	6,9	0,02			EN	NP	NP	NP		A-2-6	NA'		100,0	100,0	100,0	81,08	47,52	32,03	22,16	17,98	13,51	
OBS:									EN = Energia Normal EI = Energia Intermediária EM = Energia Modificada																	

Fonte: Memorial de cálculos - MC-07-101/SC-200-4-P09/501 - (2016)

ANEXO E – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS CLASSES DE VEÍCULOS PESADOS

Distribuição							
Classe	2C(22)	3c(22)	2S2	2S3	3S3	3D4	3D6
Tipo	Com.2	Com.4	Com.6	Com.7	Com.8	Com.9	Com.10
Partic.	30,24%	22,40%	14,48%	11,50%	12,83%	6,41%	2,14%

Fonte: Memorial de cálculos - MC-07-101/SC-200-4-P09/501 - (2016)

ANEXO F – HIPÓTESES OPERACIONAIS E DE CARREGAMENTO

Hipóteses Operacionais	
- % de distribuição direcional => D	100%
- % de veículos comerciais na faixa solicitada => Fp	100%/90%/40%
- Fator climático regional => FR	1
Hipóteses de Carregamento	
- % de veículos comerciais com carga máxima => X	75%
- % de veículos comerciais com sem carga (vazios) => Y	15%
- % de veículos comerciais com carga máxima+ tolerância => W	10%

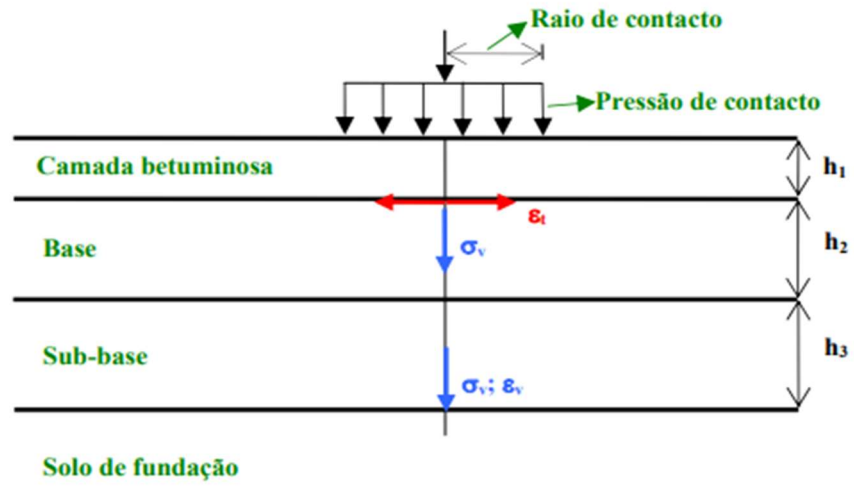
Fonte: Memorial de cálculos - MC-07-101/SC-200-4-P09/501 - (2016)

ANEXO G – FATORES DE EIXO E DE VEÍCULOS

Classificação		FV			Combinação de Eixos				Número de eixos
		FLEXÍVEL		RÍGIDO					
dos Veículos		USACE	AASHTO		ESRS	ESRD	ED	ET	
Classe	Tipo	X%CML + Y% VAZIO			A	B	C	D	
2C (16)	Com.1	0,11	0,13	0,12	1	1	0	0	2 EIXOS
2C (22)	Com.2	3,52	2,36	2,03	1	1	0	0	2 EIXOS
3C (20)	Com.3	2,76	0,66	0,99	1	0	1	0	3 EIXOS
3C (22)	Com.4	6,85	1,59	2,1	1	0	1	0	3 EIXOS
2S1	Com.5	4,55	3,09	3,18	1	2	0	0	3 EIXOS
2S2	Com.6	9,59	3,41	3,7	1	1	1	0	4 EIXOS
2S3	Com.7	11,42	3,66	5,57	1	1	0	1	5 EIXOS
3S3	Com.8	10,38	2,07	4,69	1	0	1	1	6 EIXOS
3D4	Com.9	18,94	4,46	5,85	1	0	3	0	7 EIXOS
Ôn(2C)	Ônibus2	3,58	2,37	2,03	1	1	0	0	2 EIXOS
Ôn(3C)	Ônibus3	2,79	0,89	1,09	1	1	0	0	3 EIXOS

Fonte: Memorial de cálculos - MC-07-101/SC-200-4-P09/501 - (2016)

ANEXO H - PARÂMETROS AVALIADOS NA ANÁLISE EMPÍRICO-MECANICISTA



Fonte: Fontes (2009)