

**DESENVOLVIMENTO DE MATRIZ DE SOLUÇÕES DE PAVIMENTOS  
ADAPTADA ÀS CONDIÇÕES DO DISTRITO FEDERAL**

**RODRIGO ALVES DE ÁVILA NUNES**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO – 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**DESENVOLVIMENTO DE MATRIZ DE SOLUÇÕES DE  
PAVIMENTOS ADAPTADA ÀS CONDIÇÕES DO DF**

**RODRIGO ALVES DE ÁVILA NUNES**

ORIENTADOR: LUIZ GUILHERME  
COORIENTADOR: FABIO ZANCHETTA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM PAVIMENTAÇÃO

BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO-2018  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**DESENVOLVIMENTO DE MATRIZ DE SOLUÇÕES DE  
PAVIMENTOS ADAPTADA ÀS CONDIÇÕES DO DF**

**RODRIGO ALVES DE ÁVILA NUNES**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

**APROVADA POR:**

---

(Orientador)

---

(Coorientador)

---

(Examinador interno)

---

(Examinador externo)

BRASÍLIA/DF, 10 DE DEZEMBRO DE 2018

## FICHA CATALOGRÁFICA

NUNES, RODRIGO ALVES DE ÁVILA

**Desenvolvimento de matriz de soluções de projetos de pavimentos adaptada às condições do Distrito Federal.** [Distrito Federal] 2018.

xiv, 98p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2018)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Pavimentação Urbana

2. Sistema de Gerência de Pavimentos

3. Patologias dos Pavimentos Flexíveis

4. Matriz de Soluções

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Bacharel)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NUNES, R.A.A. (2018). Desenvolvimento de matriz de soluções de projetos de pavimentos adaptada às condições do Distrito Federal. Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 98 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Rodrigo Alves de Ávila Nunes.

TÍTULO: Desenvolvimento de matriz de soluções de projetos de pavimentos adaptada às condições do Distrito Federal.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil      ANO: 2018.

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Rodrigo Alves de Ávila Nunes  
SQS 309 Bloco K Apartamento 308, Asa Sul

CEP: 70.362-110 Brasília – DF – Brasil  
e-mail: digo.nunes2010@gmail.com

## **RESUMO**

NUNES, R.A.A. (2018). **Desenvolvimento de matriz de soluções de projetos de pavimentos adaptada às condições do Distrito Federal**. Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 98 p.

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de dois produtos: uma Matriz de Soluções de Projetos de Manutenção Rodoviária e outra de Soluções de Projetos de Construção de Pavimentos Novos. Essas matrizes são construídas para viabilizar a gestão dos ativos rodoviários em nível de rede e dinamizar os processos de mobilização de equipes para execução de obras de manutenção e construção, respectivamente, fornecendo critérios de projetos previamente calculados e adequados para cada caso particular.

A proposta é adaptar a estrutura dos catálogos de soluções desenvolvidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura Rodoviária (DNIT), responsável pela gerência da malha federal brasileira, ao contexto de tráfego do Distrito federal, cuja malha possui menores volumes de veículos comerciais. Imaginou-se que o maior detalhamento das faixas de tráfego menos intensas enriqueceria a versatilidade de soluções para o cenário urbano, o que não foi constatado no fim do desenvolvimento do catálogo de manutenção, uma vez que as soluções resultantes para as duas faixas mais leves foram exatamente as mesmas. Com relação ao catálogo de construção de pavimentos novos, foram pré-dimensionadas soluções por meio da metodologia tradicional, para então redimensiona-las por uma análise mecanicista, utilizando o programa ELSYM5 para o cálculo das deformações específicas críticas e aplicando o modelo de previsão de fadiga do “*Asphalt Institute*”. Nessa etapa foi possível perceber a deficiência da metodologia tradicional, bem como a relevância da utilização de bases rígidas para retardar o fenômeno da fadiga do revestimento.

**Palavras-chave:** Pavimento Flexível – Manutenção – Matriz de Soluções – Sistema de Gerência de Pavimentos.

## **ABSTRACT**

NUNES, R.A.A. (2018). **Development of solution matrix of pavement projects adapted to Distrito Federal conditions**. Monograph of Final Project in Civil Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Brasília, Brasília, DF, 98 p.

The present work consists in the development of two products: a Matrix of Solutions of Projects of Road Maintenance and another one of Solutions of Projects of Construction of New Pavements. These matrices are built to enable the management of road assets at the network level and to streamline the process of mobilizing teams to carry out maintenance and construction works, respectively, providing project criteria previously calculated and adequate for each particular case.

The proposal is to adapt the structure of the catalogs of solutions developed by the National Department of Road Infrastructure (DNIT), responsible for the management of the Brazilian federal network, to the context of the Federal District traffic, whose mesh has lower volumes of commercial vehicles. It was envisaged that the greater detailing of the less intense traffic lanes would enrich the versatility of solutions for the urban scenario, which was not observed at the end of the development of the maintenance catalog, since the resulting solutions for the two lighter lanes were exactly the same. Regarding the new pavement construction catalog, solutions were pre-dimensioned using the traditional methodology, then resized by a mechanistic analysis, using the ELSYM5 program for the calculation of specific critical deformations and applying the predictive model of fatigue of the "Asphalt Institute". In this stage, it was possible to perceive the deficiency of the traditional methodology, as well as the relevance of the use of rigid bases to retard the phenomenon of the fatigue of the coating.

**Key words:** Flexible Pavement – Maintenance – Solution Matrix – Management Pavement System.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. MOTIVAÇÃO.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	2
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
2.1. ASPECTOS GERAIS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	3
2.1.1. CAMADAS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL .....	3
2.1.2. DESEMPENHO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO.....	5
2.1.3. DESEMPENHO FUNCIONAL DO PAVIMENTO .....	7
2.1.4. DETERIORAÇÃO DOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS .....	9
2.2. GERÊNCIA DE PAVIMENTOS.....	12
2.2.1. CONCEITOS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTO.....	12
2.2.2. SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS (SGP).....	14
2.2.3. O SGP DO DNIT .....	15
2.3. PAVIMENTAÇÃO URBANA .....	19
2.3.1. ASPECTOS GERAIS.....	19
2.3.2. PAVIMENTAÇÃO URBANA NO BRASIL.....	21
2.3.3. PAVIMENTAÇÃO URBANA NO DISTRITO FEDERAL .....	22
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	26
3.2. DEFINIÇÃO DAS FAIXAS DE ENTRADA .....	27
3.2.1. PARÂMETROS DE TRÁFEGO .....	27
3.2.2. PARÂMETROS ESTRUTURAIS - DEFLEXÃO .....	31

3.2.3. PARÂMETROS FUNCIONAIS – IRI.....	32
3.2.4. PARÂMETROS FUNCIONAIS – TR.....	33
3.2.5. ESTRUTURAÇÃO DO CATÁLOGO DE MANUTENÇÃO.....	33
3.3. CÁLCULO DAS SOLUÇÕES GENÉRICAS DE MANUTENÇÃO.....	36
3.3.1. APLICAÇÃO DA PRO-011/79 PARA O CRITÉRIO DEFLECTOMÉTRICO .....	37
3.3.2. APLICAÇÃO DA PRO-269/94 PARA O CRITÉRIO DEFLECTOMÉTRICO .....	39
3.3.3. APLICAÇÃO DA PRO-159/85 PARA O CRITÉRIO DEFLECTOMÉTRICO .....	42
3.3.4. APLICAÇÃO DA PRO-159/85 PARA O CRITÉRIO DE IRI.....	43
3.4. CÁLCULO DAS SOLUÇÕES GENÉRICAS DE CONSTRUÇÃO.....	43
3.4.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE PROJETOS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS....	44
3.4.1.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO MECANICISTA.....	46
<b>4. RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>50</b>
4.1. CÁLCULO DAS SOLUÇÕES GENÉRICAS DE MANUTENÇÃO.....	50
4.1.1. CRITÉRIO ESTRUTURAL – DEFLEXÃO RELATIVA.....	51
4.1.2. CRITÉRIO FUNCIONAL – IRI.....	53
4.2. CONSTRUÇÃO DO CATÁLOGO DE MANUTENÇÃO .....	53
4.2.1. DEFINIÇÃO DOS TIPOS DE SOLUÇÃO POR DEFEITO E TRÁFEGO .....	54
4.2.2. CATÁLOGO DE SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO .....	55
4.3. CÁLCULO DAS SOLUÇÕES DE CONSTRUÇÃO .....	60
4.3.1. MÉTODO DE PROJETOS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS .....	60
4.3.2. MÉTODO MECANICISTA.....	61
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>68</b>
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	69
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>73</b>

<b>A1.</b>	<b>VMD DE ALGUNS SEGMENTOS DO DF (elaborado pelo autor) .....</b>	<b>73</b>
<b>A2.</b>	<b>SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO COM CBUQ PELO MÉTODO DO DNER - PRO 011/79 (elaborado pelo autor) .....</b>	<b>78</b>
<b>A3.</b>	<b>SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO COM CBUQ PELO MÉTODO DO DNER - PRO 269/94 - SUBLEITO I (elaborado pelo autor) .....</b>	<b>79</b>
<b>A4.</b>	<b>SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO COM CBUQ PELO MÉTODO DO DNER - PRO 269/94 - SUBLEITO II (elaborado pelo autor) .....</b>	<b>80</b>
<b>A5.</b>	<b>SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO COM CBUQ PELO MÉTODO DO DNER - PRO 269/94 - SUBLEITO III (elaborado pelo autor) .....</b>	<b>81</b>
<b>A6.</b>	<b>SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO COM CBUQ PELO MÉTODO DO DNER - PRO 159/85 - DEFLEXÃO (elaborado pelo autor).....</b>	<b>82</b>
<b>A7.</b>	<b>SOLUÇÕES PARA PARÂMETROS ISOLADOS (elaborado pelo autor) .....</b>	<b>83</b>
<b>A8.</b>	<b>Catálogo de Soluções Genéricas de Manutenção (elaborado pelo autor)....</b>	<b>84</b>
<b>A9.</b>	<b>FAIXAS DE HR (CM) - SUBLEITO TIPO I (elaborado pelo autor) .....</b>	<b>85</b>
<b>A10.</b>	<b>FAIXAS DE HR (CM) - SUBLEITO TIPO II (elaborado pelo autor).....</b>	<b>86</b>
<b>A11.</b>	<b>FAIXAS DE HR (CM) - SUBLEITO TIPO III (elaborado pelo autor) .....</b>	<b>87</b>
<b>A12.</b>	<b>RESUMO DAS SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO (elaborado pelo autor)</b>	<b>88</b>
<b>A13.</b>	<b>SOLUÇÕES PARA PAVIMENTOS NOVOS (elaborado pelo autor).....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
Tabela 2.2 - Extensão e situação da malha viária do DF (elaborada pelo autor).....	23
Tabela 3.1 - Proposta de Faixas de Tráfego (elaborada pelo autor).....	29
Tabela 3.2 – Cálculo do número N (elaborada pelo autor).....	30
Tabela 3.3 - Faixas de deflexão para categorias inferiores ao Tráfego Pesado (elaborada pelo autor).....	32
Tabela 3.4 - Faixas de deflexão para Tráfego Pesado e Muito Pesado (elaborada pelo autor)	32
Tabela 3.5 - Faixas de análise do IRI (elaborada pelo autor) .....	32
Tabela 3.6 - Faixas de análise do TR (elaborada pelo autor).....	33
Tabela 3.7 – Catálogo de Manutenção com os códigos das soluções (elaborado pelo autor) ..	35
Tabela 4.1 – Valores de Referência para as Faixas de Deflexão Relativa (elaborada pelo autor) .....	50
Tabela 4.2 – Valores de Referência para as Faixas de IRI (elaborada pelo autor) .....	50
Tabela 4.3 – Resumo das Soluções Referentes à Deflexão Relativa (elaborada pelo autor) ...	52
Tabela 4.4 – Soluções referentes à adequação do IRI (elaborada pelo autor) .....	53
Tabela 4.5 – Representação dos Tipos de Solução Adotados (elaborada pelo autor).....	54
Tabela 4.6 – Valores Gerenciais – DC/Dadm (elaborada pelo autor).....	56
Tabela 4.7 – Valores Gerenciais – IRI (elaborada pelo autor).....	56
Tabela 4.8 – Valores Gerenciais – TR (elaborada pelo autor).....	57
Tabela 4.9 - Representação das Solução Gerenciais Adotadas (elaborada pelo autor).....	57
Tabela 4.10 - Catálogo de Soluções Gerenciais de Manutenção (elaborada pelo autor) .....	59
Tabela 4.11 - Catálogo de Reconstrução/Pavimentos Novos - CBR Sb ≤ 6% (elaborada pelo autor).....	60
Tabela 4.12 - Catálogo de Reconstrução/Pavimentos Novos - CBR Sb > 6% (elaborada pelo autor).....	61
Tabela 4.13 – Materiais utilizados para caracterização das camadas (elaborada pelo autor)...	61
Tabela 4.14 – Análise Mecanicista 1: Sistema de Camadas (elaborada pelo autor) .....	62
Tabela 4.15 – Análise Mecanicista 1: Resultados (elaborada pelo autor).....	63

Tabela 4.16 – Relação entre N de fadiga e afundamento da T.R. com o N de projeto (elaborada pelo autor).....	63
Tabela 4.17 – Análise Mecanicista 2: Sistema de Camadas – Estratégia 1 (elaborada pelo autor).....	64
Tabela 4.18 – Análise Mecanicista 2: Resultados – Estratégia 1 (elaborada pelo autor).....	65
Tabela 4.19 - Mecanicista 2: Sistema de Camadas – Estratégia 2 (elaborada pelo autor) .....	65
Tabela 4.20 - Análise Mecanicista 2: Resultados – Estratégia 2 (elaborada pelo autor) .....	65
Tabela 4.21 – Espessura e módulos finais redimensionados (elaborada pelo autor) .....	66
Tabela 4.22 – Catálogo Final de Reconstrução/Pavimentos Novos - CBR Sb $\leq$ 6% (elaborada pelo autor).....	66
Tabela 4.23 - Catálogo Final de Reconstrução/Pavimentos Novos - CBR Sb $>$ 6% (elaborada pelo autor).....	67

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 2.1 - Disposição das camadas de um pavimento (Bernucci et al, 2008) .....	4
Figura 2.2 - Trincamento tipo "couro de jacaré" (Bernucci et al., 2008) .....	6
Figura 2.3 - Classificação da serventia por meio de índices (DNIT, 2005) .....	7
Figura 2.4 - Causas de patologias (DNIT, 2005) .....	9
Figura 2.5 - Mecanismo de formação de panelas (DNIT, 2005) .....	10
Figura 2.6 – Fases da vida de um pavimento (DNER, 1979) .....	11
Figura 2.7 - Curva de Degradação do Pavimento (modificado - DNIT, 2006) .....	13
Figura 2.8 - Estrutura de um SGP (DNIT, 2011, p. 36) .....	15
Figura 2.9 - Matriz de soluções de Manutenção do DNIT .....	17
Figura 2.10 - Matriz de Soluções de Reconstrução/Pavimento Novo (DNIT, 2015) .....	18
Figura 2.11 - Contexto da malha rodoviária brasileira em 2017 (CNT, 2017).....	21
Figura 2.12 - Gráfico da proporção de cada tipo de via em relação à malha (elaborado pelo autor).....	23
Figura 2.13 - Gráfico da proporção de cada situação de via em relação à malha (elaborado pelo autor) .....	24
Figura 2.14 - Gráfico da proporção de cada via em relação à malha duplicada (elaborado pelo autor).....	24
Figura 2.15 - Gráfico da proporção de cada via em relação à malha não pavimentada (elaborado pelo autor).....	25
Figura 2.16 - Gráfico da proporção de cada via em relação à malha pavimentada (elaborado pelo autor) .....	25
Figura 2.17 - Gráfico da proporção de cada via em relação à malha planejada (elaborado pelo autor).....	25
Figura 3.1 - Relação entre Parâmetros de tráfego e Função de Via (IP - 02/2004, 2004).....	27
Figura 3.2 - Relação entre Parâmetros de tráfego e Função de Via (AGETOP, 2016).....	28
Figura 3.3 – Critérios para Avaliação Estrutural (DNER, 1979).....	37
Figura 3.4 – Estrutura de referência conforme a PRO269/94 (DNER, 1994) .....	39

Figura 3.5 – Classificação do subleito quanto à resiliência (DNER, 1994) .....	39
Figura 3.6 – Estrutura do Pavimento proposta pelo método TECNAPV (elaborada pelo autor) .....	44
Figura 3.7 – Espessuras mínimas de Revestimento Betuminoso (DNER, 1981) .....	45
Figura 3.8 – Coeficientes de equivalência estrutural (DNER, 1981).....	46
Figura 3.9 – Carregamento simétrico – Eixo Padrão (modificada – site pedreira).....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
AGETOP	Agência Goiana de Transportes e Obras
C.CRÍTICO	Caminho Crítico
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CNT	Confederação Nacional de Transporte
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
Dadm	Deflexão Admissível
Dc	Deflexão Característica
DF	Distrito Federal
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
GO	Goiás
HDM	<i>Highway Design and Management</i>
ICP	Índice de Condição do Pavimento
ICPF	Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis
IES	Índice de Estado de Superfície
IGG	Índice de Gravidade Global
IGGE	Índice de Gravidade Global Expedito
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviária
IRI	<i>International Roughness Index</i>
ISC	Índice de Suporte Califórnia
LVC	Levantamento Visual Contínuo
N	Repetições do eixo padrão
NOVACAP	Companhia Urbanizadora da Nova Capital
PNC	Plano Nacional de Contagem

QI	Quociente de Irregularidade
SEGETH	Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação
SETE	Serviços Técnicos Especializados
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
SNV	Sistema Nacional de Viação
SP	São Paulo
TCDF	Tribunal de Contas do Distrito Federal
TR	Grau de Trincamento
UnB	Universidade de Brasília
VMD	Volume Médio Diário
VMDc	Volume Médio Diário Comercial
<i>CBR</i>	<i>Califórnia Bearing Ratio</i>
<i>DER/DF</i>	Departamento de Estradas de Rodagem do DF

# 1. INTRODUÇÃO

As rodovias urbanas pavimentadas representam um patrimônio de alto valor socioeconômico e precisam ser preservadas. A maioria dos deslocamentos de pessoas e cargas no DF é feito por meio de automóveis particulares e comerciais, os quais demandam boas condições de trafegabilidade. A presença de buracos e defeitos no pavimento asfáltico provoca desvios verticais no fluxo dos automóveis, aumentando o tempo de viagem e gerando desconforto para os passageiros, além de prejudicar o funcionamento dos veículos, que ao operar nessas condições, apresentam custos mais elevados de manutenção, bem como maior consumo de combustível, aumentando a produção de gases poluentes. A manutenção rodoviária visa conservar a trafegabilidade adequada nas rodovias, combatendo o surgimento e a evolução de patologias que degradam o pavimento.

O gerenciamento dos pavimentos é um desafio que envolve o balanceamento entre os investimentos em construção de novos eixos viários necessários, e em manutenção da malha já existente. Ao passo que o primeiro implica em custos mais elevados, o segundo abrange uma dinâmica cíclica, complexa e que não deve ser interrompida. Esse ciclo engloba o constante monitoramento do desempenho funcional e estrutural da malha, bem como a elaboração de projetos de intervenção e as intervenções propriamente ditas. Os critérios que identificam a necessidade de intervenção devem ser bem estipulados para que os pavimentos ainda eficientes não consumam investimentos desnecessários e os em início de fadiga recebam a devida restauração no período mais econômico, uma vez que, a partir desse estágio, a degradação acelera significativamente, assim como o esforço necessário para garantir a sua estabilização e restituir uma nova vida útil à estrutura. Quando a intervenção de manutenção não é realizada, a degradação compromete a segurança estrutural do pavimento, desabilitando-o ao tráfego, de modo que a sua reabilitação demanda ações de reconstrução, as quais envolvem investimentos superiores aos de construção. Portanto, fica evidente a importância de dinamizar as etapas de elaboração de projetos para a mobilização das equipes de execução das intervenções.

## **1.1. MOTIVAÇÃO**

Considerando as características das vias do Distrito Federal, bem como o contexto orçamentário do país e a complexidade da gerência de pavimentos, será importante desenvolver estudos e ferramentas que busquem facilitar estimativas dos valores de projetos de forma célere, com informações de fácil obtenção, bem como possibilitar previsões de custos e benefícios para diferentes soluções, racionalizando os investimentos necessários por meio da redução dos desperdícios. A possibilidade de criar um produto que facilite e propicie a implantação de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos eficiente é honrosa, visto o alcance e impacto positivo da manutenção do adequado desempenho dos pavimentos e expansão das infraestruturas rodoviárias nos indicadores socioeconômicos.

## **1.2. OBJETIVOS**

- 1º.** Desenvolver uma matriz de soluções de projeto de manutenção adaptada às condições de tráfego do Distrito Federal, de modo que ela possa ser inserida a um contexto de Sistema de Gerenciamento de Pavimentos;
- 2º.** Desenvolver um catálogo de soluções de construção/reconstrução de pavimentos adaptado às condições de tráfego do Distrito Federal, por meio das metodologias tradicionais;
- 3º.** Avaliar as soluções de construção/reconstrução com um modelo de previsão de fadiga do pavimento, utilizando o programa ELSYM5 para o cálculo das deformações específicas críticas na estrutura da rodovia;

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O desenvolvimento da matriz de soluções simplificadas para projetos rodoviários visada neste trabalho envolve uma gama de conceitos relacionados à pavimentação rodoviária e gestão da malha, aplicados ao contexto urbano. Nesta revisão, buscou-se abordar esses conceitos por meio das análises de trabalhos já publicados, a fim de estruturar todo embasamento mínimo necessário para compreensão do produto aqui proposto. Sendo assim, esta etapa foi dividida em três subtítulos, no qual o primeiro destina-se aos conceitos relacionados à estrutura do pavimento flexível, o tráfego que a usufrui e como é avaliado seu desempenho; o segundo aborda os principais conceitos relacionados ao gerenciamento de pavimentos e o terceiro destaca as principais peculiaridades da pavimentação no cenário urbano, em contraste com o rural.

### **2.1. ASPECTOS GERAIS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL**

O pavimento rodoviário é uma estrutura formada por uma ou mais camadas sobrepostas, com características mecânicas compatíveis com as cargas aplicadas na superfície, de modo que as tensões resultantes fiquem abaixo das tensões admissíveis dos materiais constituintes de cada camada (Pinto & Preussler, 2010). O objetivo da execução do pavimento é prolongar a vida útil das estradas, principalmente as submetidas aos maiores valores de tráfego e, segundo Bernucci et al (2008), propiciar maior conforto, economia e segurança ao rolamento dos veículos. Os pavimentos são classificados em rígido, flexível e semirrígido, de acordo com seus materiais constituintes, o que implica em métodos de análise e dimensionamento distintos. Como o pavimento flexível é o mais utilizado nas rodovias brasileiras, inclusive no Distrito Federal, somente ele será abordado neste trabalho.

#### **2.1.1. CAMADAS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL**

De acordo com Pinto & Preussler (2010), o pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem uma deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado, provocando, portanto, uma distribuição equivalente da carga entre as diferentes faixas de materiais, de modo que as superiores absorvem parcelas mais significativas. Vale observar

que a qualidade dos materiais, no aspecto mecânico, decresce com a profundidade. Usualmente, o pavimento flexível é formado por 4 camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base, reforço do subleito e o próprio subleito. A Figura 2.1 ilustra o arranjo mais comum dessa estrutura.

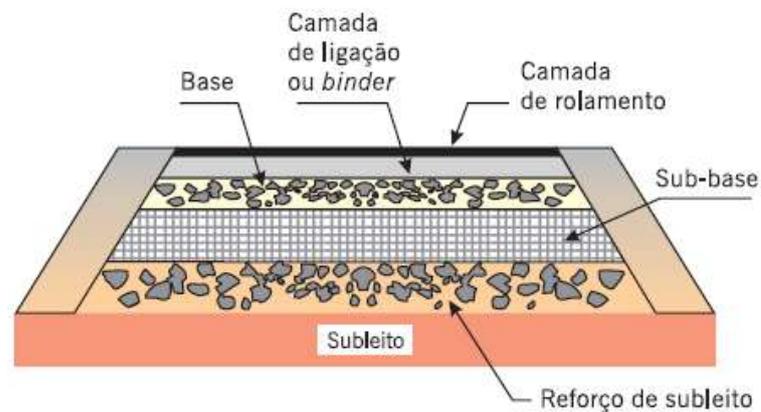


Figura 2.1 - Disposição das camadas de um pavimento (Bernucci et al, 2008)

O subleito é a infraestrutura ou o terreno de fundação sobre o qual será levantada a plataforma do pavimento. Neste trabalho esta camada será adotada como: “*a plataforma da estrada terminada após a conclusão dos cortes e aterros*” (Bernucci et AL, 2008). Todas as camadas do pavimento são dimensionadas de modo que as tensões cheguem ao subleito com valores bastante reduzidos, inferiores à tensão admissível dos seus materiais. Sendo assim, ele deve ser estudado até uma profundidade em que essas tensões atuem de forma significativa. DNIT (2005) recomenda que tal profundidade varie entre os limites de 0,60 m e 1,50 m.

O reforço de subleito é adotado quando esse tem resistência muito baixa ou o tráfego da rodovia é muito pesado, o que demandaria camadas de base e revestimento muito espessas e elevaria o custo da obra. Nessas circunstâncias, adota-se uma espessura de reforço, com um material de características mecânicas superiores às do subleito e inferiores à da sub-base ou base. De acordo com Pinto & Preussler (2010), geralmente o material constituinte dessa camada é um solo argiloso selecionado, mas também é muito comum a utilização de geossintéticos.

Segundo Pinto & Preussler (2010), a principal função da camada de base é promover a rigidez necessária para limitar as tensões de compressão na camada inferior à valores

aceitáveis, bem como garantir que as tensões de flexão no revestimento não o leve ao trincamento prematuro. Quando o dimensionamento do pavimento resulta em uma espessura elevada dessa camada é comum adotar mais uma espessura de transição entre o reforço e a base, com uma rigidez intermediária e materiais de menor custo, chamada de sub-base.

A camada de revestimento recebe diretamente as solicitações do tráfego e as transmite de forma atenuada para as camadas inferiores. Ainda segundo Pinto & Preussler (2010), ela é dimensionada para resistir às forças abrasivas do tráfego, reduzir a penetração de água superficial no pavimento, proporcionar uma superfície resistente ao deslizamento dos veículos, bem como um rolamento suave e uniforme ao tráfego. O concreto asfáltico é o material mais comum no dimensionamento dos revestimentos flexíveis, e para Pinto & Preussler (2010) o seu sucesso depende de uma ótima graduação de agregados e porcentagem de ligante betuminoso, de modo a resistir ao tráfego e condições climáticas, dentro do período de projeto determinado, levando-se em conta a manutenção adequada.

### **2.1.2. DESEMPENHO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO**

O principal parâmetro utilizado pela metodologia clássica para avaliação da resistência de qualquer material granular é o Índice de Suporte Califórnia (ISC), mais conhecido como CBR (*California Bearing Ratio*), o qual o resultado fornece um valor percentual que compara a resistência do material em questão com a de uma brita padrão. Esse ensaio requer a moldagem de corpo de prova com umidade ótima e geralmente é feito em laboratório. A maioria dos métodos clássicos de avaliação da condição estrutural de pavimentos envolvem ensaios destrutivos, nos quais há extração de corpos de prova. Essas amostras possibilitam a determinação de parâmetros que indicam a condição estrutural do pavimento, tais como: umidade, grau de compactação e o próprio CBR.

Apesar de bons indicadores, esses parâmetros não avaliam o desempenho mecânico da estrutura, ou seja, como as tensões e deformações da mesma se comportam. A avaliação das características mecânicas está atrelada à ensaios dinâmicos, realizados sobre a faixa de rolamento, por meio de levantamentos de deflectometria, sendo a viga Benkelman o primeiro e mais famoso. Esses ensaios consistem na verificação das deformações transversais de um deflectômetro com sensibilidade de 0,01 mm, que capta as deformações do asfalto para uma

carga pré-definida. O dispositivo de aferição desse parâmetro mais utilizado atualmente é o *Falling Weight Deflectometer* (FWD), o qual é capaz de também desenhar a bacia de deflexões do ponto medido com mais precisão e velocidade, o que facilita bastante a logística de monitoramento de rodovias extensas.

A análise da condição estrutural dinâmica dos pavimentos é fundamental para investigar o comportamento mecânico dos mesmos, possibilitando determinar as condições que os levam à fadiga, ou seja, exaustão por carregamento cíclico. Segundo Laier (2003), esse é um fenômeno extremamente complexo, que depende, dentre outros fatores, das características mecânicas dos materiais e é fortemente influenciado por zonas de concentração de tensões, como fissuras e variações de geometria. No caso específico das rodovias, Medina (1997) indica que a repetição das cargas solicita à flexão o revestimento de ligante asfáltico, induzindo trincas usualmente na parte inferior do revestimento, as quais se propagam para cima até atingir a superfície. A Figura 2.2 ilustra um revestimento asfáltico com trincas generalizadas e interligadas, características do efeito de fadiga, chamadas de “couro de jacaré”.



Figura 2.2 - Trincamento tipo "couro de jacaré" (Bernucci et al., 2008)

Segundo Pinto & Preussler (2010), a fadiga do revestimento é um fenômeno que não pode ser evitado, pois está associado à característica cíclica do tráfego, mas o seu efeito pode ser avaliado por meio de modelos que relacionam o número  $N$  de repetições da carga ao estado de tensões induzidas pelo carregamento de um eixo padronizado, possibilitando assim o dimensionamento da estrutura que experimentará o fenômeno da fadiga, apenas após o fim

de sua vida de projeto. Como esse é um fenômeno característico de materiais que resistem à tração, além do revestimento asfáltico, as camadas de base e sub-base constituídas por misturas com material cimentante, como a Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), constituem zonas de importante monitoramento dos parâmetros mecânicos citados.

### 2.1.3. DESEMPENHO FUNCIONAL DO PAVIMENTO

O desempenho funcional dos pavimentos refere-se à manutenção da qualidade que oferecem ao rolamento dos pneus, chamada de serventia. Existem diversos parâmetros utilizados para quantificar esse desempenho, sendo que no Brasil os mais adotados são o Índice de Irregularidade (IRI – *International Roughness Index*), o Quociente de Irregularidade (QI), o grau de trincamento, TR, o IGG (Índice de Gravidade Global) e o IES (Índice de Estado de Superfície), o qual é obtido do Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis (ICPF) e do IGGE (Índice de Gravidade Global Expedito). Ao calcular esses parâmetros é possível estimar a condição da serventia do pavimento por meio de tabelas como a presente na Figura 2.3 abaixo.

ICPF	Irregularidade		IGG	TR	Conceito
	QI (cont./km)	IRI (m/km)			
5-4	13-25	1-1,9	0 – 20	0 - 2	Excelente
4-3	25-35	1,9 - 2,7	20 – 40	2 - 5	Bom
3-2	35-45	2,7 - 3,5	40 – 80	5 - 10	Regular
2-1	45-60	3,5 - 4,6	80 – 150	10 - 25	Ruim
1-0	> 60	> 4,6	> 150	> 25	Péssimo

Figura 2.3 - Classificação da serventia por meio de índices (DNIT, 2005)

Dentre os parâmetros apresentados, os que mais refletem o conceito da serventia são o QI e o IRI, pois eles se apoiam na seguinte definição de irregularidade: “*desvio da superfície da rodovia em relação a um plano de referência, que afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade do rolamento e as cargas dinâmicas sobre a via*” (DNER, 1994). A aferição da irregularidade longitudinal é feita por meio de um dispositivo que percebe os deslocamentos verticais das rodas de um veículo ao trafegar na rodovia, de forma que os resultados são

calculados, no caso do IRI, pela soma dos deslocamentos verticais, em valores absolutos, dividida pela extensão total do trecho, ou, no caso do QI, pelo total de ocorrências de deslocamentos, também dividida pela extensão do trecho, respectivamente expressos pelas unidades (m/km) e (contagem/km). A classificação das rodovias com relação aos índices de irregularidade é interessante, pois permite boas projeções de custos operacionais do ponto de vista do tráfego, como desempenho dos veículos e conforto do usuário, no entanto ela não permite a avaliação do grau de deterioração da rodovia ou distinção de patologias, de forma que os resultados podem ser semelhantes para um trecho muito esburacado ou remendado.

No aspecto de identificação do risco à condição estrutural, os demais parâmetros são mais interessantes por destacarem em seus métodos a contagem e distinção das patologias. O grau de trincamento, por exemplo, é o percentual de área superficial com presença de trincas do tipo FC-1 e FC-2 (ambas com abertura maior que 1,0 mm, sendo que a segunda possui bordas erodidas), as quais têm grande probabilidade de alcançar a camada granular abaixo do revestimento, fazendo desse índice um bom identificador dos trechos com potencial risco de terem sua degradação acelerada devido à infiltração de água nessas camadas. Sendo assim, apesar de ser um parâmetro de avaliação funcional, o grau de trincamento pode ser utilizado associado aos métodos de avaliação estrutural, indicando os trechos onde devem ser aplicados com mais urgência.

O cálculo de qualquer índice de serventia depende da coleta dos respectivos elementos necessários, trafegando pela rodovia. Existem dois conceitos de coleta desses elementos: o Levantamento Visual Contínuo (LVC) e a Avaliação Objetiva. O primeiro consiste em percorrer a malha com um automóvel com uma velocidade baixa (40 km/h segundo a PRO 008/2003) de modo que os técnicos dentro do veículo possam visualizar, classificar e anotar todos os defeitos que percebem no trajeto. O segundo resume-se em percorrer a malha parando de 20 em 20 metros para medir as flechas dos afundamentos e anotando os demais defeitos existentes em uma extensão de 6 metros limitada pelas bordas da faixa. É notório que a Avaliação Objetiva permite uma coleta mais rica em detalhes, no entanto ela tende a ser mais imprecisa, pois demanda uma extrapolação estatística para os trechos não medidos, além de demorar muito mais tempo para ser concluída. A evolução das tecnologias de filmagem e leituras a laser favoreceu a aplicação do conceito do LVC já que possibilitam o tratamento dos dados coletados por meio de vídeo, fora do campo e com a mesma ou até maior riqueza de detalhes, além de viabilizarem a realização do percurso com maior velocidade.

## 2.1.4. DETERIORAÇÃO DOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

As patologias podem surgir nos pavimento por inúmeros motivos, tendo origem na má execução ou subdimensionamento de alguma camada, falhas ou subdimensionamento de dispositivos de drenagem, utilização inadequada de materiais ou fadiga do revestimento. A Figura 2.4 resume algumas categorias de defeitos com suas possíveis causas.

<b>Categoria do Defeito</b>	<b>Causa Genérica</b>	<b>Causa Específica</b>
Trincamento	Associada com tráfego	Cargas repetidas (Fadiga) Carga excessiva Escorregamento de capa
	Não associada com tráfego	Mudanças de umidade Mudanças térmicas Retração (Propagação)
Deformação	Associada com tráfego	Carga excessiva (Cisalhamento) Fluência plástica Densificação (Compactação)
	Não associada com tráfego	Expansão Consolidação de substratos
Desagregação	Associada com tráfego	Desagregação do agregado
	Não associada com tráfego	Falta de qualidade dos materiais

Figura 2.4 - Causas de patologias (DNIT, 2005)

O trincamento por fadiga, como já elucidado no subitem 2.1.2, tem início após o pavimento ter atingido um número limite de repetições do eixo padrão e geralmente tem início na face inferior do revestimento. Ao atingirem a superfície, as fissuras criam brechas para a infiltração da água na capa asfáltica, gerando poro pressões elevadas quando da passagem de veículos, o que provoca a expansão da região trincada, aumentando ainda mais a espessura das aberturas, até culminar no descolamento de placas de revestimento pelo rolamento do pneu sobre essa área, formando os buracos, mais conhecidos como panelas. A Figura 2.5 ilustra esse mecanismo. O surgimento dessas patologias prejudica a serventia da rodovia, aumentando o consumo de combustível, custos de manutenção e liberação de gases poluentes dos veículos. Quando a água alcança as camadas granulares abaixo do revestimento, ocorre o bombeamento dos solos finos para a superfície, o que desestrutura todo

o arranjo granulométrico do pavimento, levando-o, caso não seja feita nenhuma intervenção, ao colapso. O comprometimento de qualquer dispositivo que proteja o pavimento da entrada de água resulta em um mecanismo semelhante de deterioração, mas a ideia é que os pavimentos bem projetados e executados devam apresentar patologias somente após atingirem a fase de fadiga.

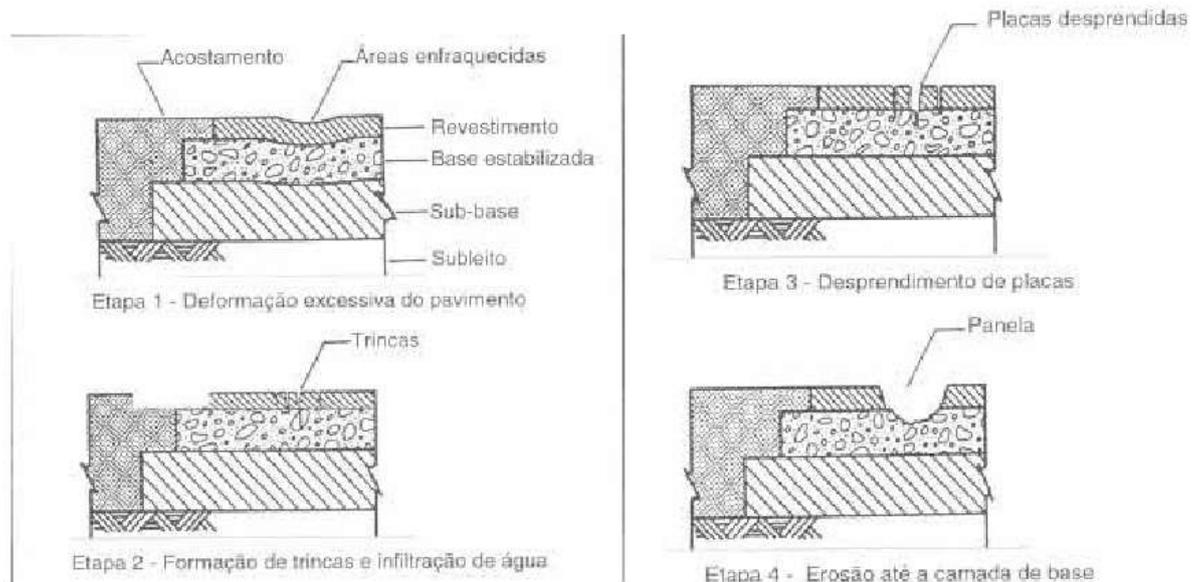


Figura 2.5 - Mecanismo de formação de painéis (DNIT, 2005)

De acordo com a PRO-011/79 (DNER, 1979), com relação à deflexão, existem três fases distintas na vida de um pavimento: fase de consolidação, fase elástica e fase de fadiga. A primeira corresponde a um período curto, logo após a conclusão do pavimento, no qual as deflexões reduzem rapidamente com o início do tráfego na via, devido à consolidação das camadas internas do pavimento. Após essa consolidação, as deflexões tendem a se estabilizar dando início à fase elástica, que representa a maior parte da vida útil do pavimento, quando as deflexões permanecem praticamente constantes ou com baixo crescimento. A fase de fadiga é marcada pelo momento em que as deflexões começam a crescer rapidamente, o que reflete no surgimento e agravamento das patologias. No caso de falta de capacidade resistiva de alguma das camadas do pavimento, devido à subdimensionamento ou falhas executivas, pode acontecer de as deflexões aumentarem rapidamente, simultaneamente ao início do tráfego. A Figura 2.6 ilustra a evolução das deflexões com a repetição de solicitações do eixo padrão.

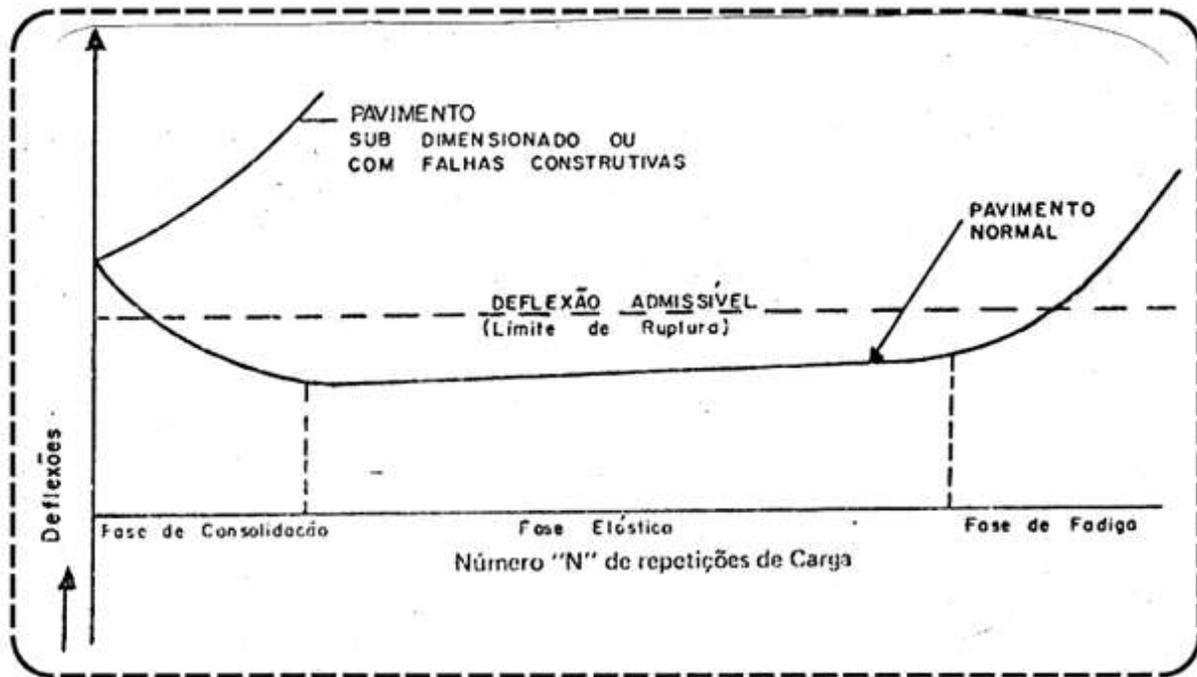


Figura 2.6 – Fases da vida de um pavimento (DNER, 1979)

O início da fase de fadiga representa o momento em que o pavimento passa a ter uma queda de serventia muito brusca, de forma que quanto maior for o período entre esse marco e a intervenção de restituição de desempenho, mais onerosa será essa intervenção e maiores serão os custos dos usuários. A evolução dessas fases pode ser acompanhada, dentre outros parâmetros, pelo aumento da área trincada, refletida pelo TR, exposto no subitem 2.1.3. Segundo Fernandes Júnior et al (2003), existem dois métodos para o reparo de trincas por fadiga: a correção permanente, por reparo profundo, e o reparo temporário. Em ambos existem as etapas de limpeza e preparo da área trincada antes da aplicação das soluções propriamente ditas, mas em resumo, a primeira consiste em remover a região deteriorada, podendo alcançar a profundidade do subleito, para posterior preenchimento com concreto asfáltico, enquanto que a segunda se resume ao espalhamento e compactação de mistura betuminosa sobre as áreas com aberturas. Nota-se que o primeiro método é mais eficiente para o tratamento de estágios mais avançados de degradação, nos quais provavelmente já houve infiltração de água, uma vez que o reparo propõe a substituição de todo o material comprometido, demandando maior esforço do que o reparo temporário.

## **2.2. GERÊNCIA DE PAVIMENTOS**

### **2.2.1. CONCEITOS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTO**

O gerenciamento dos pavimentos consiste no planejamento de como será executado o ciclo de manutenção dos mesmos em paralelo com a construção de novas rodovias, levando-se em conta o contexto orçamentário da gestão. Ao passo que existem demandas socioeconômicas pela implantação de novos segmentos pavimentados, a execução desses representa investimentos com potencial de retorno. No entanto, a análise dos custos e benefícios desses empreendimentos deve estar contemplada em um planejamento de gestão da malha como um todo para que não falem recursos voltados à manutenção dos pavimentos já existentes, de forma que a construção de um novo não implique na reconstrução de vários antigos.

Segundo o Manual de Conservação Rodoviária (DNIT, 2005), a manutenção rodoviária corresponde a um processo que reúne o conjunto das atividades necessárias para a continuidade do desempenho satisfatório do pavimento, o que se traduz na sua capacidade de ofertar condições de tráfego com segurança, conforto e economia. Ela envolve as etapas de monitoramento, diagnóstico, priorização dos trechos deficientes e estratégia de manutenção que pode contemplar intervenção na rodovia, ou não. As intervenções se dividem em 4 grupos, dos quais 3 se distinguem pelo objetivo das atividades e condição de habilitação do pavimento ao qual se adéquam: as atividades de conservação, que são viáveis apenas para pavimentos que ainda desfrutam de bom desempenho, sendo executadas com o objetivo de preservá-lo; as de restauração, também viáveis somente para pavimentos ainda habilitados ao tráfego, mas já no final de seu ciclo de vida (Figura 2.6, subitem 2.1.4), sendo implementadas visando restaurar o desempenho ótimo do pavimento, levando-se em conta a sua vida útil de projeto; e as atividades de reabilitação, adequadas aos pavimentos que já tiveram uma ou mais seções rompidas devido à deterioração e não encontram-se habilitados ao tráfego, de forma que será necessária a reconstrução dessas seções. O quarto grupo é o das atividades de melhoramento, as quais são aplicadas para trechos com pavimentos ainda em condições de operação, visando apenas melhorar alguma de suas características, como sistema de drenagem, sinalização e contenção de taludes.

Cada etapa do ciclo de manutenção contempla diversas possibilidades de execução e vale ressaltar que quanto mais dinâmicas forem as ferramentas adotadas, mais eficiente será a gestão. A Figura 2.7 ilustra a curva de degradação esperada de um pavimento, onde as ordenadas expressam a qualidade do mesmo e as abscissas, o tempo ou a evolução do IRI. As projeções tracejadas inferior e superior da curva representam, respectivamente, o comportamento sem a aplicação de qualquer tipo de manutenção e com a degradação amortecida pela restauração. Na mesma figura estão indicados os períodos em que a restauração é interessante de (“DEVE”) ser aplicada e em que é necessária (“TEM DE”).

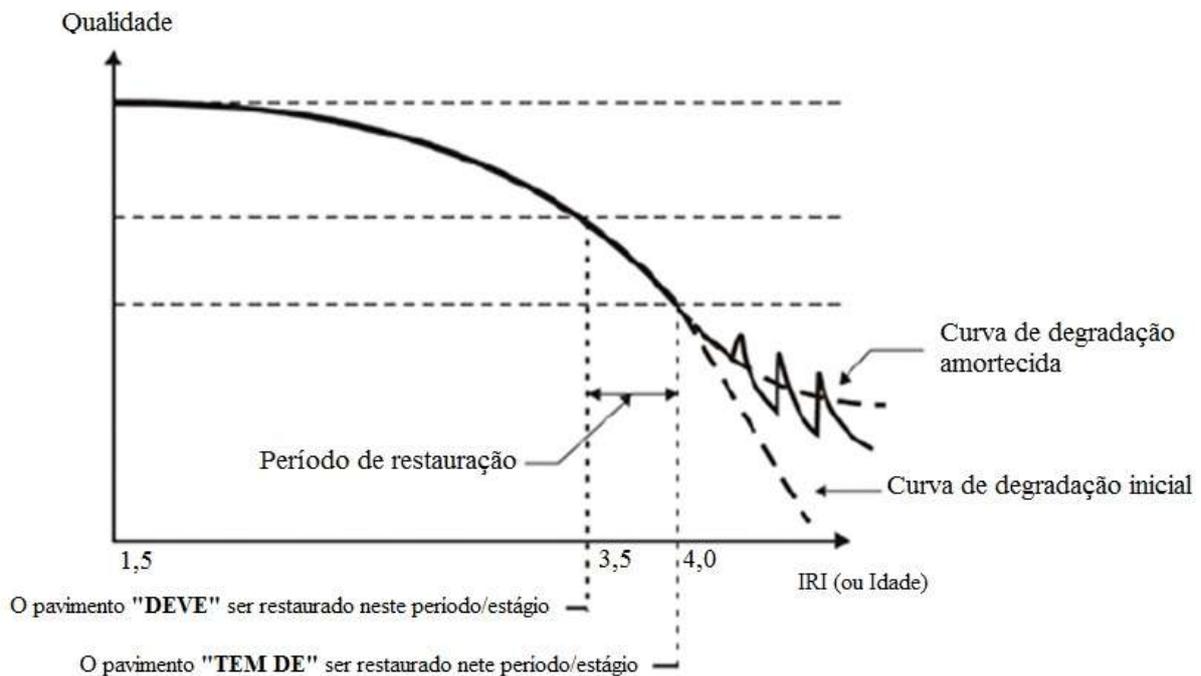


Figura 2.7 - Curva de Degradação do Pavimento (modificado - DNIT, 2006)

A etapa de monitoramento envolve a investigação e inventário da malha, levantando os parâmetros citados nos itens 2.1.2 e 2.1.3, os quais possibilitam identificar a condição funcional e estrutural do pavimento, para as quais serão definidos os gatilhos de intervenção. A partir dos levantamentos de campo são definidos os trechos homogêneos, com características semelhantes de tráfego, materiais construtivos e condição estrutural e funcional para os quais serão criados os diferentes diagnósticos. Nessa etapa, destaca-se a importância da existência de um banco de dados com os cadastros de todas as rodovias da malha e capaz de armazenar em cada cadastro, os dados coletados em cada investigação de campo. A presença dessa ferramenta facilita a etapa de diagnóstico na qual os dados serão utilizados para avaliar a providência a ser tomada quanto à condição de cada trecho homogêneo em

particular, contemplando a elaboração de soluções de acordo com o tipo de intervenção requisitada.

Em seguida, devem ser definidos os trechos deficientes que terão prioridade de intervenção, visto as limitações orçamentárias da gestão. Existem vários critérios que podem ser avaliados nessa etapa, como custo, função da rodovia, volume de tráfego, parâmetros de serventia e etc. Esses critérios usualmente são aplicados em modelos simplificados como o modelo de Tavakoli, criado para gerenciar malhas viárias de pequenas comunidades norte-americanas, e o modelo de priorização do HDM-4, desenvolvido pelo Banco Mundial. Em sua dissertação de mestrado, Becker (2012) comparou esses dois modelos e verificou que apesar de ambos serem adequados para gerenciar vias urbanas, o primeiro se mostrou mais simples de ser aplicado e conservador, pois priorizou 100% dos trechos analisados em seu trabalho, enquanto que o HDM-4 se mostrou mais realista, por ser um modelo de critérios abertos, e mais complexo, devido à requisição de levantamento do IRI dos trechos. Como esse índice demanda o uso de um perfilômetro à laser, a autora alertou a possível dificuldade de sua aplicação em cidades de pequeno e médio porte, recomendando o uso do modelo de Tavakoli nesses casos, mas também destacou a melhor avaliação econômica do HDM-4 devido à melhor previsibilidade dos custos operacionais dos veículos por meio do IRI.

### **2.2.2. SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS (SGP)**

Um SGP é uma ferramenta que visa otimizar a gestão dos pavimentos tanto a nível de rede, quanto de projeto, por meio de ferramentas computacionais e modelos matemáticos que facilitem a retroalimentação entre ambos, bem como a geração de resultados que atendam à todos os requisitos técnicos e fatores externos necessários: *“Como principais fatores externos podem ser citados os recursos orçamentários, os dados necessários ao sistema e as diretrizes políticas e administrativas”* (DNIT, 2011, p. 35). O nível de rede contempla as etapas de tratamento padronizado da malha como um todo, abrangendo a coleta de dados de desempenho e o levantamento de demandas de construção, os quais alimentarão o sistema em nível de projeto, onde cada trecho será analisado de forma particular, de acordo com seu diagnóstico. O produto do sistema no segundo nível é o projeto de cada trecho, que contempla a solução técnica e econômica mais viável, o qual será utilizado novamente em nível de rede nas análises de priorização de investimentos. Vale destacar a importância de um banco de

dados eficiente, capaz de comportar e gerir todas as informações necessárias para essa retroalimentação entre os dois níveis. O produto final do SGP é um relatório com o resumo de todas as informações e indicadores necessários à tomada de decisão dos gestores, esclarecendo os investimentos mais vantajosos e minimizando os desperdícios de recursos. A Figura 2.8 ilustra a estrutura exposta.



Figura 2.8 - Estrutura de um SGP (DNIT, 2011, p. 36)

### 2.2.3. O SGP DO DNIT

O atual SGP do DNIT foi criado na década de 1990 e já passou por algumas reestruturações. Os parâmetros de desempenho que alimentam o seu banco de dados são: os dados de tráfego, oriundos de contagens realizadas pelo Plano Nacional de Contagem (PNC), convertidas nos VMDs; de deflectometria, aferida com a utilização do FWD; e os defeitos e irregularidade, avaliados, respectivamente, por meio do LVC, voltado ao cálculo do TR, e o IRI. Segundo DNIT (2015), os dados são levantados, sempre que possível, anualmente, e são organizados por segmentos homogêneos, respeitando os limites da divisão em trechos do atual Sistema Nacional de Viação (SNV). Vale observar que o desempenho estrutural é avaliado como a razão entre a deflexão característica medida e a deflexão admissível, a qual representa o limite em que o revestimento começa a trincar por fadiga e está ilustrada na Figura 2.6 – Fases da vida de um pavimento . Ou seja, os trechos que apresentarem razão

maior que um se encontram em fase de fadiga, o que não quer dizer que não estejam mais habilitados ao tráfego, mas que já estão no fim do seu ciclo de vida.

A etapa de diagnóstico da malha existente é realizada com o auxílio do Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis e da Matriz de solução de Reconstrução/Pavimento Novo, presentes no Relatório Técnico 002/2014 (DNIT, 2015). O primeiro estabelece soluções pré-definidas para cada cenário de desempenho associado ao seu VMD, representado na Figura 2.9 abaixo. Esses cenários são identificados pelos parâmetros de desempenho funcional (IRI e TR) e estrutural (deflectometria) aferidos no monitoramento. A matriz é então concebida como que em um plano cartesiano, onde o eixo das abscissas representa a evolução da deterioração estrutural, no qual são organizados os parâmetros de deflectometria e de tráfego, e o das ordenadas, a evolução da deterioração funcional, no qual são organizados os parâmetros de TR e IRI, de forma que os pavimentos que se classificam no quadrante inferior direito são os mais degradados, portanto compatíveis com estratégias de restauração pesada ou reconstrução, e os que se classificam no superior esquerdo são os menos, logo, que demandam apenas intervenções de conservação. Vale destacar que essa evolução de degradação não é linear, uma vez que, por exemplo, da esquerda para a direita, o parâmetro de deflexão decresce para a faixa inicial quando há uma mudança de grupo de tráfego, para então voltar a crescer. Essa característica, que também se manifesta na vertical, com o TR, se torna mais visível ao observar a variação de cores da tabela, já que as soluções mais onerosas possuem tom mais escuro, enquanto que as soluções mais leves possuem tom mais claro. Os parâmetros citados são organizados em faixas numéricas, com limites bem definidos, de modo a facilitar a identificação da célula correspondente à condição de desempenho de cada trecho homogêneo. A cada uma dessas células está associado um código, o qual corresponde a um diagnóstico.

Condição Funcional		Tráfego		VMDc <= 800			800 < VMDc <= 1600			1600 < VMDc <= 2400				2400 < VMDc <= 3200				VMD > 3200			
		Estrutura		Dc/Dadm <= 1,1	Dc/Dadm > 1,1	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	Dc/Dadm > 1,5	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	1,5 < Dc/Dadm <= 2	Dc/Dadm > 2	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	1,5 < Dc/Dadm <= 2	Dc/Dadm > 2	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	1,5 < Dc/Dadm <= 2	Dc/Dadm > 2	
IRI <= 2,5 m/km	TR <= 10	Mi	H4	Mi	H4	H7	Mi	H4	H9	H10	Mi	H4	Hpol8	Hpol10	Mi	Hpol4	Hpol8	Hpol10			
	TR > 10	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+H7	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+H9	FSp+H10	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+Hpol8	FSp+Hpol10	FSp+Hpol4	FSp+Hpol4	FSp+Hpol8	FSp+Hpol10			
2,5 m/km < IRI <= 4 m/km	TR <= 10	REP+TSD	H4	H4	H4	H7	H4	H4	H9	H12	H4	H4	Hpol8	Hpol10	Hpol4	Hpol4	Hpol8	Hpol10			
	TR > 10	FSp+REP+TSD	FSp+REP+H4	FSp+TSD+H4	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+H7	FSp+TSD+H4	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+H9	REC4	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+Hpol8	REC4	FSp+TSDpol+Hpol4	FSp+TSDpol+Hpol4	FSp+TSDpol+Hpol8	REC6			
IRI > 4 m/km	TR <= 10	REP+H4	REP+H4	REP+H5	REP+H6	REP+H8	REP+H5	REP+H6	REP+H10	REC4	REP+H5	REP+H6	REC4	REC4	REP+Hpol5	REP+Hpol6	REC5	REC6			
	TR > 10	FSp+TSD+H4	FSp+TSD+H6	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+H6	REC3	FSp+TSDpol+H5	FSp+TSDpol+H6	REC4	REC4	FSp+TSDpol+H5	FSp+TSDpol+H6	REC4	REC4	FSp+TSDpol+Hpol4	REC5	REC5	REC6			

**Parâmetros de entrada:**

IRI: Irregularidade Longitudinal (mm/m)

TR: Percentual da área trincada (%)

VMDc: Volume médio diário de tráfego, bidirecional

Dc: Deflexão característica (0,02 mm)

Dadm: Deflexão admissível (0,02 mm), determinado pelo método PRO-11

**Soluções:**

Mi: Micro revestimento asfáltico a frio

H"X": Reforço estrutural em concreto asfáltico com "X" cm de espessura

Hpol"X": Reforço estrutural em concreto asfáltico modificado por polímero com "X"cm de espessura

REP: Reperfilagem com aplicação de concreto asfáltico com 2cm de espessura

FS: Fresagem contínua e 5cm de espessura com reposição em 5cm em concreto asfáltico

FSp: Fresagem parcial - descontínua, de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm em concreto asfáltico

TSD: Tratamento superficial duplo

TSDpol: Tratamento superficial duplo com emulsão modificada por polímero

REC"X": Reconstrução, em que "X" varia de 1 a 5, ou seja, em cinco cenários distintos das soluções de reconstrução - em conformidade com o catálogo sugerido para pavimentos novos

Figura 2.9 - Matriz de soluções de Manutenção do DNIT

A Matriz referente à reconstrução e construção de pavimentos novos também estabelece soluções para valores de tráfego pré-definidos, contemplando a variedade de condições estruturais do subleito (verificadas por meio do CBR) estabelecidas nas diretrizes do Método de dimensionamento de Pavimento Novo do DNIT. A configuração dessa matriz está ilustrada na tabela ilustrada na figura abaixo:

Matriz de Solução de Reconstrução / Pavimento Novo							
Duplicação	Tráfego N USACE	Código	Revestimento	Tratamento Superficial	Base	Sub-base	Reforço
Pavimento Flexível	$N < 5,00E+06$	REC1	5 cm de CBUQ	Impr + PL	Solo Estab. 20 cm	Solo 20 cm	20 cm se CBR < 6%
	$5,00E+06 \leq N < 1,00E+07$	REC2	7,5 cm de CBUQ	Impr + PL(2x)			
	$1,00E+07 \leq N < 2,00E+07$	REC3	10 cm de CBUQ	Impr + PL(2x)	BGS 15 cm		
	$2,00E+07 \leq N < 5,00E+07$	REC4	10 cm de CBUQ	Impr + PL(2x)	BGS 20 cm		
Pavimento Semi Rígido	$5,00E+07 \leq N < 1,00E+08$	REC5	12,5 cm de CBUQ	Impr + TSD + PL(3x)	BGTC 20 cm	BGS 20 cm	20 cm se CBR < 5%
	$1,00E+08 \leq N$	REC6	12,5 cm de CBUQp	Impr + TSD + PL(3x)			

Legenda:	
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CBUQp	Concreto Betuminoso Usinado a Quente com polímero
BGS	Brita Graduada Simples
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
SB	Solo-Brita
Reforço	Rachão / Solo Estabilizado
Impr	Imprimação
PL	Pintura de Ligação
PLp	Pintura de Ligação com polímero
TSD	Tratamento Superficial Duplo

Figura 2.10 - Matriz de Soluções de Reconstrução/Pavimento Novo (DNIT, 2015)

A partir das soluções indicadas pelo Catálogo de manutenção e pela Matriz de pavimentos novos, são realizadas as estimativas de investimento, as quais são fundamentais para a etapa de priorização das intervenções. Nesse sentido, destaca-se no SGP do DNIT a possibilidade de integração com o HDM-4, capaz de também realizar previsões de desempenho da malha. A comunicação entre ambos é feita por meio da exportação de dados, organizados em um formato padronizado, do primeiro para o segundo, o qual retorna um relatório com as projeções solicitadas.

As vantagens da utilização do software do banco mundial para a avaliação de prioridades são a sua versatilidade de análises, flexibilidade de entrada de dados, possibilitando ao gestor adequar os critérios empregados de acordo com o contexto pessoal da sua gestão, e o reconhecimento internacional do software, que traz segurança para os

investidores com relação aos indicadores de qualidade da infraestrutura rodoviária em questão.

## **2.3. PAVIMENTAÇÃO URBANA**

### **2.3.1. ASPECTOS GERAIS**

As rodovias urbanas se diferenciam das rurais em muitos aspectos, tais como: operam com níveis de serviço mais baixos; possuem traçado com maior número de interseções; tráfego com menores velocidades de operação, maiores índices de VMD e menores de VMDC; e pavimento com camadas menos espessas, constituídas de materiais menos resistentes. A alta densidade demográfica das cidades é o fator que desencadeia todas essas diferenças, pois demanda uma distribuição complexa das vias bem como gera uma quantidade enorme de deslocamentos. A combinação dessas características propicia o surgimento de congestionamentos, que prejudicam a mecânica dos pavimentos.

Muitos municípios criaram leis de restrição ou limitação de tamanho e peso de veículos comerciais dentro de suas áreas urbanas, visando reduzir os congestionamentos e custos com a manutenção dos pavimentos, já que esses veículos podem transportar cargas várias vezes superiores à do eixo padrão, possuem grandes dimensões e menor relação potência/peso, ou seja, desenvolvem menores velocidades. No entanto, no aspecto de custos com a durabilidade do pavimento, bastaria construí-lo de forma análoga às rodovias rurais. Mas, além de ser muito cara, essa solução provavelmente não funcionaria tão bem quanto nas rodovias devido ao efeito do carregamento estático gerado em todas as situações de parada, como semáforos e congestionamentos, as quais são inevitáveis nos centros urbanos.

Os métodos de dimensionamento dos pavimentos contabilizam somente os efeitos de cargas dinâmicas no cálculo do número N, as quais geram deformações menores devido ao comportamento viscoso do asfalto e dos solos. Em situações de congestionamento as cargas atuam por períodos maiores, dando mais tempo para os materiais se deformarem até atingirem o equilíbrio de forças. No caso dos veículos de passeio, que possuem massa entre uma e duas toneladas distribuídas em dois eixos, esse equilíbrio acontece mais próximo do domínio de deformações elásticas, recuperáveis, do asfalto, o que não gera efeitos de fadiga significativos. Entretanto, para os veículos que possuem eixos com carregamento próximo ou superior ao do eixo padrão (8,2 t), o equilíbrio tende a ocorrer com um nível maior de

deformações plásticas, o que propicia a formação de trincas e, como discorrido no subitem 2.1.4, acelera a ocorrência de fadiga. Por esse motivo, os congestionamentos são considerados inadmissíveis nas rodovias rurais.

Mesmo sendo tão prejudicial ao pavimento, a circulação de veículos pesados nas áreas urbanas é vital para a logística das mesmas, pois diversos serviços como coleta de lixo, transporte público e transporte de cargas para abastecimento de diversas demandas são feitos por meio de ônibus ou caminhões. O ideal seria canalizar esses transportes em vias pré-definidas com a função de facilitar os seus deslocamentos, minimizando ao máximo o número de interseções e probabilidade de congestionamentos, a fim de evitar os efeitos do carregamento estático de veículos pesados e concentrar o esforço de construir pavimentos de elevada resistência e custo em trechos seletos. Devido à complexidade das demandas de serviços das cidades, a malha urbana é dividida em vias com diferentes funções, que dizem respeito a sua localização e tipo de usuário característico. A classificação adotada pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB) é a seguinte:

- **VIA DE TRÂNSITO RÁPIDO:** aquela caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível;
- **VIA ARTERIAL:** aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade;
- **VIA COLETORA:** aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade;
- **VIA LOCAL:** aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas.

Nota-se da classificação do CTB que as vias de trânsito rápido são as mais adequadas para o tráfego dos veículos pesados, bem como as vias locais são menos adequadas. Dessa forma, é possível associar cada classificação de via urbana com o tipo de tráfego que tende a utilizá-la, viabilizando a estimativa do número de repetições do eixo padrão na sua vida útil. A classificação quanto ao tipo de tráfego não possui critérios absolutos, pois depende das características de cada cidade, mas usualmente ela avalia somente a contagem de ônibus e

caminhões, rotulando as que apresentam maiores valores como com tráfego pesado e os que apresentam menores, com tráfego leve, de forma que podem ser adotadas classificações intermediárias e outras nomenclaturas.

### 2.3.2. PAVIMENTAÇÃO URBANA NO BRASIL

A malha rodoviária brasileira é dividida em rodovias federais (responsáveis pela comunicação de dois ou mais Estados), estaduais (interligam duas ou mais cidades de um mesmo Estado) e municipais (viabilizam todo e qualquer tráfego dentro de uma mesma cidade). A figura abaixo ilustra o boletim estatístico da Confederação Nacional de Transporte (CNT) referente à malha brasileira e sua frota de veículos até junho de 2017.

RODOVIÁRIO				Frota de Veículos	
Malha Rodoviária - extensão em Km			Total		
	Pavimentada	Não Pavimentada			
Federal	65.512,2	11.001,5	76.513,7	Caminhão	2.675.023
Estadual	119.747,0	105.600,6	225.347,6	Cavalo mecânico	641.479
Municipal	26.826,7	1.234.918,3	1.261.745,0	Reboque	1.595.134
Rede Planejada	-	-	157.309,3	Semi-reboque	920.395
<b>Total</b>	<b>212.085,9</b>	<b>1.351.520,4</b>	<b>1.720.915,6</b>	Ônibus interestaduais e internacionais*	27.818
<b>Malha Rodoviária Concessionada - extensão em Km</b>				intermunicipais**	57.000
Administrada por concessionárias privadas			19.463	fretamento*	19.485
Administrada por operadoras Estaduais			1.195	urbanos***	107.000
				Nº de Terminais Rodoviários	173

Figura 2.11 - Contexto da malha rodoviária brasileira em 2017 (CNT, 2017)

Segundo o boletim apresentado acima, o Brasil conta com 1.720.915,6 km de rodovias construídas (com ou sem pavimento) e planejadas, das quais 1.261.745,0 km são de jurisdição municipal. Dessa extensão, apenas 26.826,7 km são pavimentados, ou seja, aproximadamente 98% das vias urbanas brasileiras não possuem revestimento flexível ou rígido. Essa informação não quer dizer, necessariamente, que apenas 2% das vias brasileiras estão adequadas aos padrões de qualidade, pois as estradas de terra também são soluções eficientes para certas situações. É inegável que elas apresentam capacidade de suporte bastante inferior à das vias pavimentadas, mas para trechos de baixa solicitação de tráfego elas configuram uma opção viável sobre a ótica estrutural, apesar de demandarem mais cuidados de execução, principalmente com relação aos critérios de drenagem.

A discrepância entre o percentual de vias municipais pavimentadas e não pavimentadas assusta não em função da tipologia construtiva em si, mas por causa do principal fator que

leva à sua escolha: tempo e custo de construção, já que o preparo e execução da camada de revestimento, tanto com material flexível quanto com rígido, demanda muito mais tempo e recursos financeiros. Como a maioria dos municípios brasileiros não dispõe de situação financeira confortável, a opção pela construção de vias não pavimentadas se torna a mais viável, também, devido à necessidade de equiparar a expansão das infraestruturas com o crescimento das cidades. No entanto, essa situação de urgência contextualiza a realidade da maioria dos 98% de vias urbanas de terra: falta de planejamento e falhas de execução.

O caráter menos resistente das estradas de terra exige maior planejamento e atenção quanto às mudanças nas previsões de demanda, pois essas vias se deterioram mais rápido, de forma que um aumento pontual de intensidade de tráfego em uma estação chuvosa pode criar gargalos com facilidade. Dessa forma, apesar de terem menor custo de implantação, essas vias demandam maior esforço de manutenção, já que apresentam patologias com maior frequência, as quais também evoluem mais rápido.

### **2.3.3. PAVIMENTAÇÃO URBANA NO DISTRITO FEDERAL**

Este subitem visa construir uma breve caracterização da malha rodoviária do DF. O ideal seria utilizar uma base de dados única e confiável, mas como existem diferentes administrações (federal, estadual e municipal) atuantes na rede do DF, o mais recomendado é contabilizar as informações de cada trecho por meio da base de dados da sua respectiva jurisdição, ou seja, utilizar o banco de dados do SNV para as rodovias sob a jurisdição do DNIT, o do Sistema Rodoviário do Distrito Federal (SRDF) para as rodovias estaduais, sob a administração do Departamento de Estradas de Rodagem do DF (DER/DF), e o da NOVACAP para as vias municipais. No entanto, existem trechos onde vias de diferentes jurisprudências coexistem, o que faz com que o cálculo da malha não seja uma simples soma das extensões de cada trecho, pois essa resultaria em um valor maior do que o real. Uma vez que os dados do SNV e do SRDF permitiam a identificação dos segmentos coincidentes, não houve esse empecilho para o cálculo da malha federal e distrital. No entanto, para a malha urbana a base de dados utilizada não permitia a distinção de possíveis trechos comuns, o que gerou extensões possivelmente exageradas. Vale observar que não foram utilizados os dados da NOVACAP, uma vez que esses não foram localizados, adotando-se assim a base disponibilizada pela Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação (SEGETH). O

resumo das informações coletadas está organizado na Tabela 2.1, na qual se observa a presença da classificação de Rodovia Vicinal, a qual é descrita como “*estrada local, destinada principalmente a dar acesso a propriedades lindeiras ou caminho que liga povoações relativamente pequenas e próximas.*” (DNIT, 2007).

Tabela 2.1 - Extensão e situação da malha viária do DF (elaborada pelo autor)

Legenda	Arquivo de origem	Extensão (Km)				
		PAVIMENTADA	SEM PAVIMENTACAO	DUPLICADA	PLANEJADA	TOTAL
Rodovia Federal	SNV	78,26	0,00	129,00	0,00	207,26
Rodovia Distrital Coincidente	DER/DF	94,00	21,20	30,90	0,00	146,10
Rodovia Estadual	DER/DF	568,00	497,00	236,20	78,80	1380,00
Rodovia Vicinal	DER/DF	14,40	296,40	0,00	3,50	314,30
Rodovia Urbana	SEGETH (EIXO DE VIA)	<b>9443,86</b>	8,71	0,04		9452,62
<b>Soma</b>	-	10198,52	823,31	396,14	82,30	<b>11500,28</b>
<b>Malha</b>	-	11500,28				

Com os dados apresentados foram desenhados os gráficos da Figura 2.12 até a Figura 2.17, visando facilitar a visualização do contexto da malha. Da Figura 2.12, nota-se a predominância das vias urbanas, com 82,19% da extensão total, seguida pelas rodovias estaduais, com 12,00%. Observa-se também que as rodovias federais e distritais coincidentes somam pouco mais que 3% da extensão total, o que sugere a existência de um tráfego comercial relativamente baixo e provavelmente concentrado nas rodovias duplicadas, as quais representam apenas 3,44% da malha, como indicado na Figura 2.13, sendo as estaduais a maioria, como ilustrado na Figura 2.14, com 59,62% da malha nessa condição.

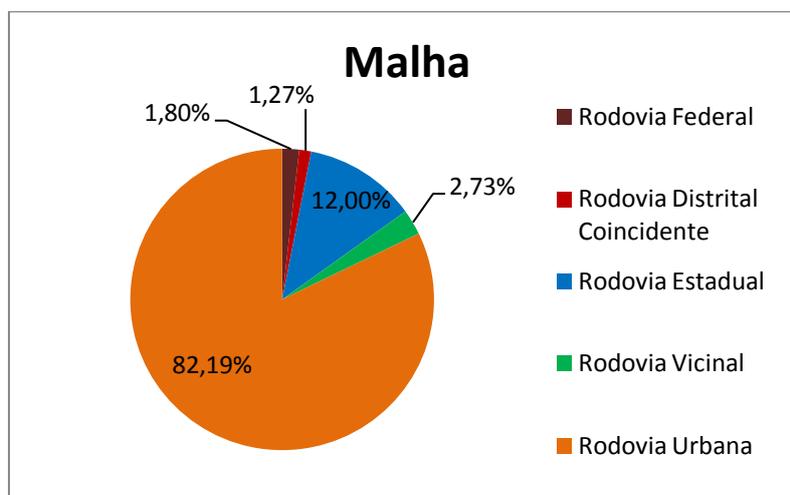


Figura 2.12 - Gráfico da proporção de cada tipo de via em relação à malha (elaborado pelo autor)

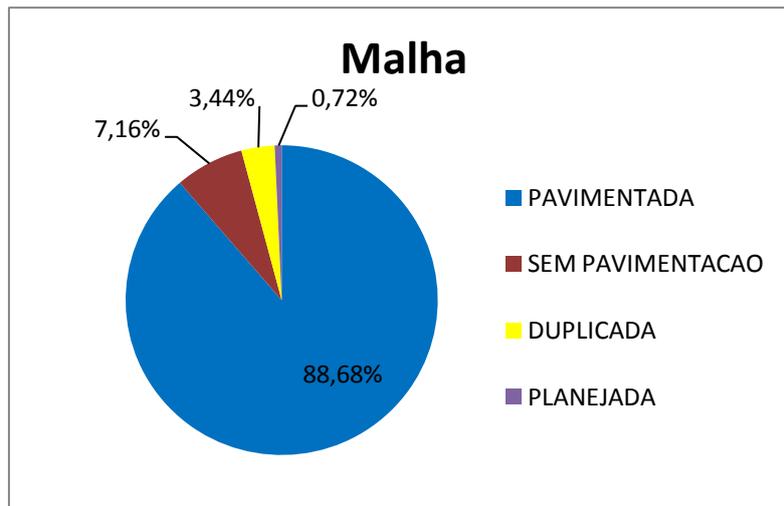


Figura 2.13 - Gráfico da proporção de cada situação de via em relação à malha (elaborado pelo autor)

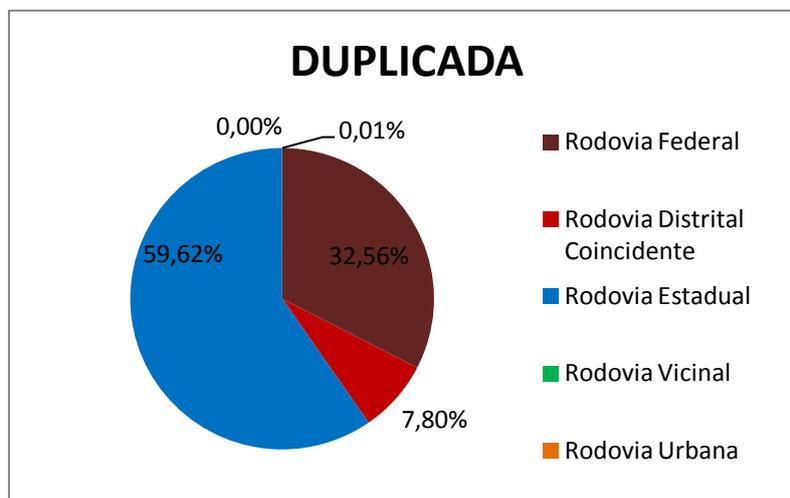


Figura 2.14 - Gráfico da proporção de cada via em relação à malha duplicada (elaborado pelo autor)

O fato de 88,68% das vias e rodovias já estarem pavimentadas, como descrito na Figura 2.13, aponta a importância do investimento em manutenção e gestão dos pavimentos e nesse sentido destaca-se a presença das vias urbanas com aproximadamente 90% da malha nessa condição, como destaca a Figura 2.16. Por outro lado, o alto percentual de rodovias estaduais não pavimentadas, 60,37% das rodovias nessa situação, equivalente a 497 km, indicado na Figura 2.15 demanda atenção, já que esse tipo de rodovia costuma atrair cargas de tráfego elevadas, devido ao seu papel de conexão regional, sendo necessário verificar os volumes de tráfego comercial nessas rotas, já que as estradas de terra não são planejadas para suportar esse tipo de tráfego.

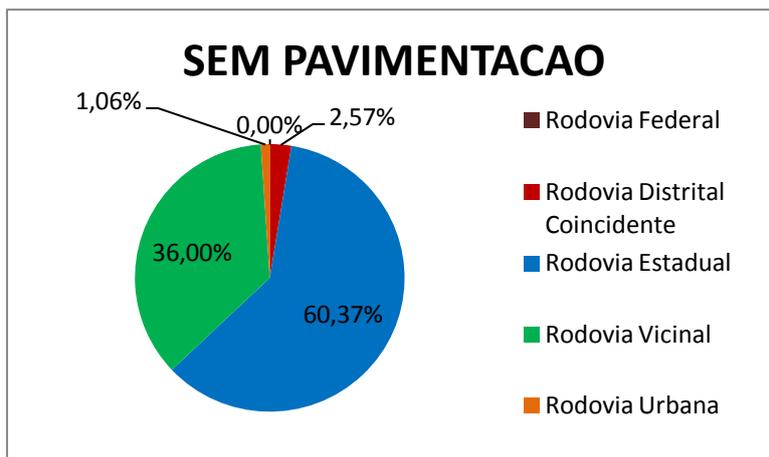


Figura 2.15 - Gráfico da proporção de cada via em relação à malha não pavimentada (elaborado pelo autor)

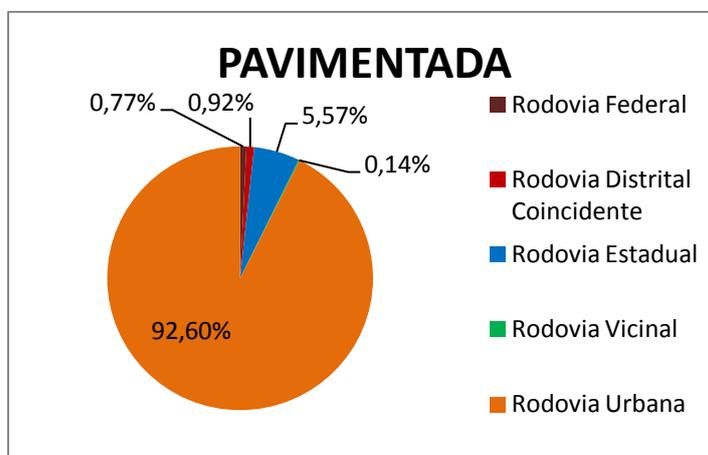


Figura 2.16 - Gráfico da proporção de cada via em relação à malha pavimentada (elaborado pelo autor)

Com relação a Figura 2.17 percebemos que o foco da execução de novos eixos de rodovia se concentra majoritariamente nas rodovias estaduais, com 95,75% dos 82,3 km de extensão nessa situação, sendo os 4,25% restantes referentes à rodovias vicinais.

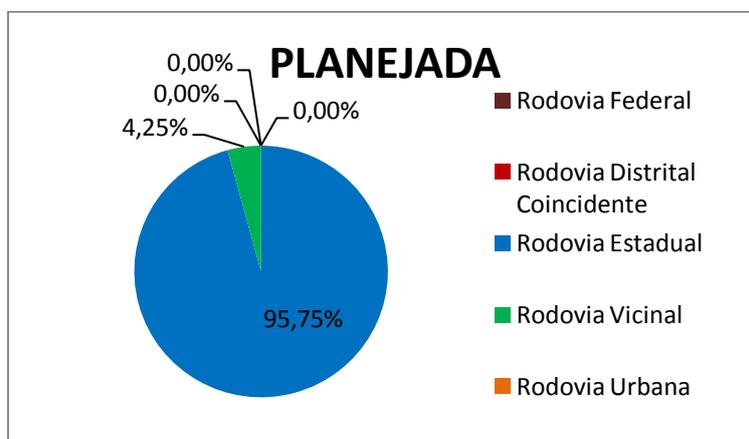


Figura 2.17 - Gráfico da proporção de cada via em relação à malha planejada (elaborado pelo autor)

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

A estrutura das matrizes de soluções para projetos de manutenção e construção de pavimentos novos seguirá o modelo proposto para o SGP do DNIT, discutido no subitem 2.2. Os principais motivos dessa escolha são o fato de os critérios de determinação das estratégias do catálogo serem abertos, detalhadamente explicados no Relatório Técnico 002/2014 (DNIT, 2015), podendo ser adaptados ao contexto do DF, e o mesmo já estar em funcionamento.

A estruturação da Matriz de Soluções para Projetos de Manutenção será exatamente igual à do modelo do DNIT, detalhada no subitem 2.2.3, mas com faixas de entrada de dados mais condizentes com a realidade do Distrito Federal, uma vez que o catálogo foi desenvolvido para contemplar todas as rodovias federais, com volumes de tráfego comercial variando desde valores muito baixos a muito altos, realidade bastante distinta do DF, que possui baixa ocorrência desse tipo de tráfego. A etapa de definição das faixas de parâmetros de tráfego que serão utilizadas será discutida no subitem 3.2. desta metodologia, mas vale antecipar que foram encontradas referências do município de São Paulo (IP - 02/2004, 2004) e da Agência Goiana de Transporte e Obras (AGETOP, 2016) que categorizam o tráfego urbano de acordo com a função de suas vias, propondo valores de volume de tráfego comercial para cada categoria, e em ambas verificou-se que o volume limite não superava o valor de 2000 veículos pesados (caminhões ou ônibus) por dia. Portanto, a ideia é criar uma matriz semelhante à do catálogo, mas de menores proporções, restrita às colunas do lado esquerdo do mesmo, contemplando condições menos severas de tráfego.

A estruturação da Matriz de Soluções de projetos para Construção de Pavimentos Novos também seguirá o modelo da matriz do DNIT, apresentada no subitem 2.2.3, com faixas de entrada de dados adaptadas. Neste caso, as adequações dizem respeito apenas aos dados de repetição do eixo padrão uma vez que esse é o único parâmetro utilizado pelo modelo. Após calcular as soluções de construção de pavimentos novos pelo método tradicional do DNER (1981), estas serão verificadas por meio de modelos mecanicistas, com o auxílio de programa ELSYM5 para o cálculo das deformações específicas nas regiões críticas do pavimento.

### 3.2. DEFINIÇÃO DAS FAIXAS DE ENTRADA

O cálculo das soluções por meio das metodologias tradicionais envolve os parâmetros: número N, vinculado ao tráfego, deflexão, vinculada ao comportamento estrutural do pavimento; e trincamento e IRI, vinculados ao desempenho funcional do revestimento. Como já mencionado, cada um desses parâmetros será dividido em faixas para facilitar a identificação das soluções. Os limites numéricos dessas faixas serão discutidos nos itens a seguir, abordando cada parâmetro individualmente.

#### 3.2.1. PARÂMETROS DE TRÁFEGO

As faixas de volume de tráfego foram definidas com base nas orientações presentes no documento Classificação das Vias (IP - 02/2004, 2004) da Prefeitura Municipal de São Paulo e no Manual de Pavimentação Urbana (AGETOP, 2016), que apresentam proposições de faixas de volume comercial e repetições do eixo padrão, associadas à função predominante da via. Como já mencionado no subitem 2.3.1, a classificação das vias urbanas quanto à sua função é muito utilizada no contexto da pavimentação urbana. As orientações de classificação dos trechos de acordo com a referência de SP estão resumidas na tabela ilustrada na figura abaixo, na qual é interessante notar que as faixas de valores de tráfego adotadas abrangem, principalmente, situações mais severas de carga, contemplando também a classificação de faixa exclusiva de ônibus.

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente / Veículo	N	N característico
			Veículo Leve	Caminhão/Ônibus			
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	2,70 x 10 <sup>4</sup> a 1,40 x 10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	1,40x 10 <sup>5</sup> a 6,80x 10 <sup>5</sup>	5 x 10 <sup>5</sup>
Vias Coletoras e Estruturais	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	1,4 x 10 <sup>6</sup> a 3,1 x 10 <sup>6</sup>	2 x 10 <sup>6</sup>
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	1,0 x 10 <sup>7</sup> a 3,3 x 10 <sup>7</sup>	2 x 10 <sup>7</sup>
	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	3,3 x 10 <sup>7</sup> a 6,7 x 10 <sup>7</sup>	5 x 10 <sup>7</sup>
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		3 x 10 <sup>5</sup> (1)	10 <sup>7</sup>
	VOLUME PESADO	12		> 500		5 x 10 <sup>7</sup>	5 x 10 <sup>7</sup>

N = valor obtido com uma taxa de crescimento de 5% ao ano, durante o período de projeto.

Figura 3.1 - Relação entre Parâmetros de tráfego e Função de Via (IP - 02/2004, 2004)

As orientações propostas pela Agência Goiana de Transporte e Obras (AGETOP) estão resumidas na tabela representada na figura abaixo, na qual nota-se a intenção de contemplar tráfegos menos severos, visto a inclusão de uma faixa com valores mais baixos que a tabela da Figura 3.1, e a exclusão de faixas que abrangem valores de repetição do eixo padrão acima de  $2 \cdot 10^6$ .

Função da Via	Tráfego Previsto	Vida Útil (Anos)	Volume Diário de Tráfego (caminhões ou ônibus na faixa mais carregada)	"N" Característico
Via Local	Tráfego Muito Leve	10	Até 03	$1 \times 10^2$
Via Local ou Coletora	Tráfego Leve	10	Até 50	$1 \times 10^5$
Via Coletora ou Arterial	Tráfego Médio	10	De 50 a 400	$5 \times 10^5$
Via Arterial ou Trânsito rápido	Tráfego Pesado	10 a 12	De 400 a 1000	$2 \times 10^6$

Figura 3.2 - Relação entre Parâmetros de tráfego e Função de Via (AGETOP, 2016)

Levando-se em conta a baixa extensão de rodovias duplicadas existentes no DF, apresentada no subitem 2.3.3, supõe-se que as características do tráfego do mesmo se adequam melhor às classificações presentes na Figura 3.2 (AGETOP, 2016). No entanto, foi obtido um relatório de contagem de veículos, elaborado pelo DER/DF, que revelou a existência de trechos de rodovias distritais com volume de veículos de porte Médio/Grande superior à 1001 contagens por dia. O levantamento desses dados foi feito ao longo do mês de outubro de 2015, abordando 95 trechos distintos e contemplando em sua análise cinco grupos de veículos: "Motos", "Veículos pequenos", "Veículos médios", "Veículos Grandes" e "S/Informação". Como o dimensionamento do número de repetições do eixo padrão leva em consideração apenas veículos comerciais, excluiu-se o grupo de "Motos" e "Veículos Pequenos" do cálculo dos volumes médios diários. A tabela com o resumo dos dados utilizados e os resultados dos volumes está organizada no Anexo I do presente trabalho. Vale observar que o relatório do DER/DF citado não foi anexado por ser demasiado extenso.

Além dos volumes comerciais de cada faixa, é importante definir o período de dimensionamento a ser adotado. Nota-se das tabelas presentes na Figura 3.1 e Figura 3.2 que o período de projeto de 10 anos é o mais comum para maioria dos grupos de tráfego, sendo que apenas para os cenários pesado ou superiores são propostos períodos de 12 anos. Um dos benefícios de utilizar um período de projeto maior para tráfegos mais intensos é o de se

executar estruturas rodoviárias mais robustas, as quais demandarão menor frequência de intervenções de manutenção, logo, menor transtorno aos usuários com interdição das vias para execução das obras, efeito que é mais significativo para vias com maiores volumes de tráfego. Nesse sentido, a utilização de um período de dimensionamento ainda superior para obras de maior porte pode trazer grande benefício sem impactar tanto no custo da obra, como demonstrado na análise do impacto do período de projeto de pavimentos no custo global de obras rodoviárias, realizada por Mello et. al. (2016). Na mesma análise, os autores sugerem: *“sugere-se, por fim e diante dos resultados apresentados, que projetos de pavimentos rígidos tenham horizontes de projeto de 30 anos, enquanto que projetos de pavimentos flexíveis passem a utilizar horizontes de projeto de 20 anos em rodovias federais, visando racionalizar e otimizar serviços de conservação e restauração”* (Mello et. al., 2016).

Diante do exposto, optou-se por adotar 6 categorias de tráfego, sendo os limites de volume da primeira faixa iguais ao tráfego “Muito Leve” da Figura 3.2 (AGETOP, 2016), e os limites das demais iguais às classificações de tráfego da Figura 3.1 (IP - 02/2004, 2004). Sendo assim, a proposta de categorização do tráfego para o DF, foi organizada na Tabela 3.1 abaixo, juntamente com a vida de projeto e o número N de cada grupo.

Tabela 3.1 - Proposta de Faixas de Tráfego (elaborada pelo autor)

Função Predominante da via	Tráfego Previsto	Vida de Projeto (anos)	VMD de caminhões ou ônibus (na faixa mais carregada)	N Característico
Via Local	Muito Leve	10	Até 03	1,0E+04
Via Local ou Coletora	Leve	10	De 04 a 20	1,0E+05
Via Coletora ou Arterial	Médio	10	De 21 a 100	4,0E+05
Via arterial ou de trânsito rápido	Meio Pesado	20	De 101 a 300	5,0E+06
	Pesado	20	De 301 a 1000	4,0E+07
	Muito Pesado	20	De 1001 a 2000	1,0E+08

O cálculo do número N de cada categoria proposta foi feito por meio da equação (3.1), apresentada na metodologia exposta no Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis (DNER, 1981).

$$N = Vt \cdot Fv \cdot Fr \tag{3.1}$$

Onde:

Vt é o Volume Total de veículos projetado para o fim da Vida de Projeto;

Fv é o Fator de Veículo, que será adotado de acordo com a Tabela 3.2;

Fr é o Fator Regional, que será adotado igual a 1.

O volume total projetado para o fim da Vida de Projeto pode ser calculado considerando uma taxa de crescimento populacional em Progressão Aritmética ( $Vt_{P.A.}$ ), ou em Progressão Geométrica ( $Vt_{P.G.}$ ). As equações (3.2) e (3.3) expressam, respectivamente, o cálculo desses volumes:

$$Vt_{P.A.} = \frac{365.P.V1.[2+(P-1).t/100]}{2} \quad (3.2)$$

Onde:

P é a Vida de Projeto, em anos;

V1 é o VMD no ano de abertura do trecho ao tráfego;

t é a taxa percentual de crescimento da população, em P.A..

$$Vt_{P.G.} = \frac{365.V1.[(1+t/100)^P-1]}{t/100} \quad (3.3)$$

Onde:

t é a taxa percentual de crescimento da população, em P.G..

Por fim, as etapas do cálculo dos números de repetições do eixo padrão e valores adotados para os parâmetros citados estão resumidos na tabela Tabela 3.2 abaixo. Vale observar que foi adotada a taxa de crescimento de 3%, uma vez que este é o valor utilizado pelo DNIT para as projeções de volumes no âmbito federal.

Tabela 3.2 – Cálculo do número N (elaborada pelo autor)

Função da Via	Tráfego Previsto	Taxa de crescimento %	Vt (P.A.)	Vt (P.G.)	FV	N (P.A.)	N (P.G.)	N (adotado)
Via Local	Muito Leve	3,00%	6.214	6.276	1,5	9,3E+03	9,4E+03	1,0E+04
Via Local ou Coletora	Leve	3,00%	49.713	50.212	1,5	7,5E+04	7,5E+04	1,0E+05
Via Coletora ou Arterial	Médio	3,00%	250.636	253.151	1,5	3,8E+05	3,8E+05	4,0E+05
Via arterial ou de trânsito rápido	Meio Pesado	3,00%	1.880.790	1.966.441	2,3	4,3E+06	4,5E+06	5,0E+06
	Pesado	3,00%	6.102.015	6.379.900	5,9	3,6E+07	3,8E+07	4,0E+07
	Muito Pesado	3,00%	14.075.440	14.716.434	5,9	8,3E+07	8,7E+07	1,0E+08

### 3.2.2. PARÂMETROS ESTRUTURAIS - DEFLEXÃO

O parâmetro de avaliação da condição estrutural do pavimento que será adotado é a razão entre a deflexão característica ( $D_c$ ), calculada como a deflexão média do trecho somada ao desvio padrão, e a deflexão admissível ( $D_{adm}$ ), calculada pelas relações empíricas das normas PRO 269/94 ou PRO 011/79, que dependem apenas do número de repetições do eixo padrão. A Figura 2.6 – Fases da vida de um pavimento, do subitem 2.1.4, apresenta o conceito de deflexão admissível, o qual é definido como o limite onde o revestimento começa a apresentar trincas: "*Para que não surjam trincas no revestimento, é necessário manter a deflexão do pavimento abaixo de um determinado valor ( $D_{adm}$ ), denominado deflexão admissível*" (DNER, 1979, p. 9). Sendo assim, a razão entre a deflexão característica e a deflexão admissível permite uma estimativa da condição do pavimento em relação à sua vida útil, ou seja, quanto menor for o resultado, menor será a sua necessidade de intervenção.

O Catálogo de soluções do DNIT dividiu o parâmetro mencionado em 4 faixas, considerando apenas valores de deflexão característica superiores às respectivas deflexões admissíveis. Notou-se que para as colunas de menor carga de tráfego o modelo utilizou um número reduzido de faixas de deflexão característica relativa à admissível: apenas duas para valores de  $VMD_c$  menores ou iguais à 800 veículos comerciais por dia, aumentando para 3 faixas de deflexão na categoria de tráfego seguinte, e 4 faixas para as demais. A razão para essa diferenciação provavelmente é a alta probabilidade de deterioração das camadas mais profundas do pavimento submetido a carregamento elevado, que demanda intervenções onerosas para a restituição de uma durabilidade rentável. Nesses casos é necessário investigar com maior precisão a condição estrutural do pavimento em situação de fadiga, utilizando faixas de deflexão com intervalos menores, para atribuir soluções específicas a cada uma. Já para tráfegos mais leves, basta identificar a existência ou não da situação de fadiga, pois dificilmente as camadas mais inferiores estarão comprometidas. Sendo assim, observando as faixas de tráfego da Tabela 3.1, optou-se por propor apenas duas faixas de deflexão para as categorias de  $VMD_c$  (nesse caso, volume diário de caminhões e ônibus somente) inferiores a 301 e quatro faixas para as demais. Os intervalos adotados em cada categoria foram os seguintes:

Tabela 3.3 - Faixas de deflexão para categorias inferiores ao Tráfego Pesado (elaborada pelo autor)

Faixa 1 -	$D_c/D_{adm} \leq 1,1$	Pavimento sem problemas estruturais
Faixa 2 -	$D_c/D_{adm} > 1,1$	Pavimento com deficiência estrutural leve

Tabela 3.4 - Faixas de deflexão para Tráfego Pesado e Muito Pesado (elaborada pelo autor)

Faixa 1 -	$D_c/D_{adm} \leq 1,1$	Pavimento sem problemas estruturais
Faixa 2 -	$1,1 < D_c/D_{adm} \leq 1,5$	Pavimento com deficiência estrutural leve
Faixa 3 -	$1,5 < D_c/D_{adm} \leq 2,0$	Pavimento com problemas estruturais
Faixa 4	$2,0 < D_c/D_{adm} \leq 3,1$	Pavimento com grandes problemas estruturais

### 3.2.3. PARÂMETROS FUNCIONAIS – IRI

A irregularidade longitudinal é o parâmetro que tem relação mais próxima com os custos operacionais dos veículos, pois avalia diretamente os desvios das rodas em relação ao eixo do automóvel. No entanto, segundo a PRO-164/94, este parâmetro deve ser aferido a uma velocidade de 80 km/h, o que dificulta a sua aplicação ao meio urbano que possui várias vias nas quais essa velocidade é impraticável. Onde não for possível levantar os dados de IRI com um perfilômetro a laser, pode-se avaliar o Quociente de Irregularidade (QI), por meio de um dispositivo do tipo resposta, conforme indicado na PRO-159/85. No subitem 3.2.3 será apresentada uma correlação entre IRI e QI. Sendo assim, as faixas de variação do IRI serão adotadas da mesma forma que o modelo, sendo elas:

Tabela 3.5 - Faixas de análise do IRI (elaborada pelo autor)

Faixa 1 -	$IRI \leq 2,5 \text{ m/km}$	Pavimentos sem problema funcionais (ótimo e bom)
Faixa 2 -	$2,5 \text{ m/km} < IRI \leq 4,0 \text{ m/km}$	Pavimentos com certas deficiências funcionais (regular)
Faixa 3 -	$IRI > 4,0 \text{ m/km}$	Pavimentos com grandes problemas funcionais (ruim)

### 3.2.4. PARÂMETROS FUNCIONAIS – TR

A avaliação dos parâmetros que quantificam a área trincada do revestimento é essencial para o planejamento de manutenção, uma vez que a abertura de trincas em uma superfície significativa representa um marco para a deterioração do pavimento devido à perda da sua impermeabilidade na camada asfáltica. Nesse sentido, o uso do grau de trincamento (TR) é interessante já que esse representa a quantificação da área trincada com aberturas do tipo FC1 e FC2, as quais refletem alto risco de permeabilizar o revestimento. O Catálogo do DNIT adota apenas duas faixas, com intervalos abertos, para esse limite, as quais também serão utilizadas no produto referente à manutenção rodoviária:

Tabela 3.6 - Faixas de análise do TR (elaborada pelo autor)

Faixa 1 -	$TR \leq 10\%$	Não há problemas funcionais
Faixa 2 -	$TR > 10\%$	Pode haver problemas funcionais

### 3.2.5. ESTRUTURAÇÃO DO CATÁLOGO DE MANUTENÇÃO

Com a definição das faixas de parâmetros e demais considerações do subitem 3.2. , obtêm-se as linhas e colunas da Matriz, viabilizando o cruzamento das soluções particulares calculadas. Dessa forma, é possível estabelecer os critérios de projeto que atendem simultaneamente aos limites dos parâmetros de cada célula. Por fim, a Tabela 3.7 ilustra a proposta de Matriz de Soluções de Projetos de Manutenção, com as faixas de parâmetros adotadas. As soluções estão representadas por códigos de quatro dígitos, como  $x_1x_2x_3x_4$ , onde:

$x_1$  representa o cenário de tráfego, variando de 1 (Muito Leve) a 6 (Muito Pesado);

$x_2$  representa o cenário de deflexão, variando de 1 (Sem problemas estruturais) a 4 (Grandes problemas estruturais);

$x_3$  representa o cenário de IRI, variando de 1 (Sem problemas funcionais) a 3 (Grandes problemas funcionais);

$x_4$  representa o cenário de trincamento, variando de 1 (Sem problemas funcionais) a 2 (Podem haver problemas funcionais);

Por exemplo, o código 5231 ( $x_1 = 5$ ;  $x_2 = 2$ ;  $x_3 = 3$ ;  $x_4 = 1$ ), destacado na tabela, refere-se à solução proposta para um trecho enquadrado na quinta faixa de tráfego (Pesado), segunda faixa de deflexão relativa (Deficiência estrutural leve), terceira de IRI (Com grandes problemas funcionais) e primeira de trincamento (Sem problemas funcionais).

Tabela 3.7 – Catálogo de Manutenção com os códigos das soluções (elaborado pelo autor)

Função da Via		LOCAL		LOCAL OU COLETORA		COLETORA OU ARTERIAL		ARTERIAL OU DE TRÂNSITO RÁPIDO									
Tráfego		MUITO LEVE (VMDc ≤ 3)		LEVE (3 < VMDc ≤ 20)		MÉDIO (20 < VMDc ≤ 100)		MEIO PESADO (100 < VMDc ≤ 300)		PESADO (300 < VMDc ≤ 1000)				MUITO PESADO (1001 < VMDc ≤ 2000)			
Funcional	Estrutural	De/Dadm ≤ 1,1	1,1 < De/Dadm ≤ 3,1	De/Dadm ≤ 1,1	1,1 < De/Dadm ≤ 3,1	De/Dadm ≤ 1,1	1,1 < De/Dadm ≤ 3,1	De/Dadm ≤ 1,1	1,1 < De/Dadm ≤ 3,1	De/Dadm ≤ 1,1	1,1 < De/Dadm ≤ 1,5	1,5 < De/Dadm ≤ 2,0	2,0 < De/Dadm ≤ 3,1	De/Dadm ≤ 1,1	1,1 < De/Dadm ≤ 1,5	1,5 < De/Dadm ≤ 2,0	2,0 < De/Dadm ≤ 3,1
	IRI ≤ 2,5 m/km QI ≤ 32,5 cont/km	TR ≤ 10%	1111	1211	2111	2211	3111	3211	4111	4211	5111	5211	5311	5411	6111	6211	6311
TR > 10%		1112	1212	2112	2212	3112	3212	4112	4212	5112	5212	5312	5412	6112	6212	6312	6412
2,5 < IRI ≤ 4,0 m/km 32,5 < QI ≤ 52,0 cont/km	TR ≤ 10%	1121	1221	2121	2221	3121	3221	4121	4221	5121	5221	5321	5421	6121	6221	6321	6421
	TR > 10%	1122	1222	2122	2222	3122	3222	4122	4222	5122	5222	5322	5422	6122	6222	6322	6422
IRI > 4,0 m/km QI > 52,0 cont/km	TR ≤ 10%	1131	1231	2131	2231	3131	3231	4131	4231	5131	<b>5231</b>	5331	5431	6131	6231	6331	6431
	TR > 10%	1132	1232	2132	2232	3132	3232	4132	4232	5132	5232	5332	5432	6132	6232	6332	6432

### 3.3. CÁLCULO DAS SOLUÇÕES GENÉRICAS DE MANUTENÇÃO

Inicialmente serão calculadas soluções de reforço de concreto asfáltico para os parâmetros de deflexão relativa e IRI, levando-se em conta os limites de cada intervalo, propostos no subitem 3.2. bem como as faixas de carga de tráfego. Vale observar que cada norma propõe a utilização de materiais distintos de acordo com o cenário de tráfego ou condição estrutural/funcional, no entanto, nesta etapa só será utilizado o CBUQ com o intuito de facilitar a comparação entre os resultados obtidos, de forma que a definição da tipologia de solução e materiais envolvidos será feita posteriormente. Cada dimensionamento particular deverá atender aos critérios da sua respectiva diretriz:

- Dc/Dadm: os cálculos seguirão as diretrizes propostas nas normas PRO-011/79 (DNER, 1979), PRO-269/94 (DNER, 1994) e PRO-159/85 (DNER, 1985). Da segunda, destaca-se a consideração de três tipos de subleito, os quais definirão três soluções distintas. Dessa forma, o fim dessa etapa proporcionará 5 soluções distintas para cada valor de referência de deflexão relativa;
- IRI: os dimensionamentos seguirão as diretrizes da norma PRO-159/85 (DNER, 1985), adotando um IRI admissível de 2,25 m/km, como foi proposto no catálogo do DNIT. O fim desta etapa resultará em uma solução para cada uma das três faixas de IRI adotadas;
- TR: a avaliação do grau de trincamento não proporciona o dimensionamento matemático de espessuras de concreto asfáltico, mas orienta a necessidade de solução específica para selagem ou bloqueio da propagação de trincas, bem como a escolha por intervenções mais pesadas, relacionadas às células localizadas em áreas indicativas de maior deterioração (setor inferior direito da matriz);

As normas apresentadas acima descrevem vários procedimentos que devem ser realizados para subsidiar a aplicação do seu respectivo método de restauração. Nos próximos subitens, serão expostos somente aqueles relacionados ao cálculo das espessuras de reforço, parâmetro alvo desta etapa.

### 3.3.1. APLICAÇÃO DA PRO-011/79 PARA O CRITÉRIO DEFLECTOMÉTRICO

A norma em questão propõe o levantamento dos seguintes parâmetros: número N, deflexão de projeto e admissível, raio de curvatura (relacionado à bacia de deflexões) e Índice de Gravidade Global (IGG). A partir dessas variáveis são propostos 5 cenários de condição do pavimento, ilustrados na figura abaixo, aos quais são apresentados preceitos para avaliação estrutural e indicação do tipo de critério (deflectométrico e/ou de resistência) para o cálculo do reforço, além de medidas corretivas. É interessante observar que apesar de ambos cenários I e III possuírem relação deflectométrica menor ou igual a um, ao primeiro é indicada apenas correções superficiais, enquanto que ao segundo, reforço ou reconstrução. Isso se deve ao menor raio de curvatura da bacia de deflexões do cenário III, fato que indica maior comprometimento das camadas subjacentes ao reforço.

Hipótese	Dados Deflectométricos obtidos	Qualidade Estrutural	Necessidade de Estudos Complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas Corretivas
I	$D_p \leq D_{adm}$ $R \geq 100$	BOA	NÃO		Apenas correções de superfície
II	$D_p > D_{adm}$ $R \geq 100$	Se $D_p \leq 3 D_{adm}$ REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço
		Se $D_p > 3 D_{adm}$ MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
III	$D_p \leq D_{adm}$ $R < 100$	REGULAR PARA MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
IV	$D_p > D_{adm}$ $R < 100$	MÁ	SIM	Resistência	Reforço ou Reconstrução
V	-	MÁ O pavimento apresenta deformações permanentes e rupturas plásticas generalizadas (IGG > 180).	SIM	Resistência	Reconstrução

Figura 3.3 – Critérios para Avaliação Estrutural (DNER, 1979)

As considerações relacionadas à tabela acima serão mais relevantes para a etapa de proposição das soluções. Retomando o foco para o dimensionamento do reforço pelo método deflectométrico, a norma demanda apenas o levantamento da relação deflectométrica e

número N. O critério para determinação da deflexão admissível proposto para pavimentos flexíveis, com revestimento de concreto betuminoso executado sobre base granular é:

$$D_{adm} = 10^{3,01-0,176 \log N} \quad (3.4)$$

Onde:

$D_{adm}$  é a deflexão admissível, em 0,01 mm;

N é o número de repetições do eixo padrão.

Destaca-se que para pavimentos semirrígidos (independentemente do tipo de revestimento), que não apresentem fissuração exagerada, a deflexão admissível calculada pela equação acima deve ser multiplicada por 0,5 e para tratamentos superficiais executados sobre base granular, deve ser multiplicado por 2.

Dessa forma, o dimensionamento do reforço de concreto betuminoso é realizado pela seguinte equação:

$$HR = 40 \cdot \log\left(\frac{D_c}{D_{adm}}\right) \quad (3.5)$$

Onde:

HR é a espessura de reforço de CBUQ, em cm;

$D_c$  é a deflexão característica, em 0,01 mm;

$D_{adm}$  é a deflexão admissível, em 0,01 mm.

### 3.3.2. APLICAÇÃO DA PRO-269/94 PARA O CRITÉRIO DEFLECTOMÉTRICO

A norma em questão reúne os procedimentos necessários para aplicação do método da Resiliência – TECNAPAV, desenvolvido pelos engenheiros Salomão Pinto e Ernesto S. Preussler. Essa metodologia de projeto de restauração de pavimentos flexíveis se difere das demais utilizadas no presente trabalho, devido à consideração do comportamento mecanicista dos materiais utilizados. Ela considera a como estrutura de referência para o pavimento, a sequência onde a 1ª camada é representada pela espessura de revestimento asfáltico (He), a 2ª, pela espessura de material granular (Hcg), e a 3ª, pelo subleito. A figura abaixo ilustra essa configuração:

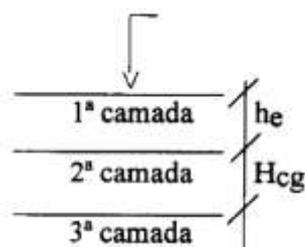


Figura 3.4 – Estrutura de referência conforme a PRO269/94 (DNER, 1994)

Inicialmente, deve-se classificar o subleito quanto ao seu comportamento resiliente, influenciado pela quantidade de solos finos da sua composição. Essa avaliação requer o levantamento do CBR e percentual de silte do mesmo. Dispondo desses dados, classifica-se o tipo de subleito conforme a figura abaixo.

CBR %	S%		
	≤ 35	35 a 65	> 65
≥ 10	I	II	III
6 a 9	II	II	III
2 a 5	III	III	III

Figura 3.5 – Classificação do subleito quanto à resiliência (DNER, 1994)

Segundo (Pinto & Preussler, 2010), os tipos de solos da 3ª camada mencionados acima podem ser descritos da seguinte forma:

- Subleito Tipo I: possui baixo grau de resiliência, o que lhe confere bom comportamento como subleito e reforço de subleito, podendo ser também aproveitado em camada de sub-base;
- Subleito tipo II: possui intermediário grau de resiliência, o que lhe confere comportamento regular como subleito, podendo ser também aproveitado como reforço de subleito quando confirmado com estudos especiais;
- Subleito tipo III: possui elevado grau de resiliência, não sendo recomendado o seu uso em camadas de pavimentos, sendo que como subleito demanda cuidados especiais.

Em seguida deve ser avaliada a espessura efetiva do pavimento existente que ainda trabalha a flexão, por meio da equação empírica abaixo:

$$H_{ef} = -5,737 + \frac{807,961}{D_c} + 0,972 \cdot I_1 + 4,101 \cdot I_2 \quad (3.6)$$

Onde:

$H_{ef}$  é a espessura efetiva, em cm;

$D_c$  é a deflexão característica, em 0,01 mm;

$I_1$  e  $I_2$  são as constantes relacionadas ao comportamento resiliente do subleito, cujos valores serão descritos a seguir.

O valor a ser adotado para a espessura efetiva,  $H_{ef}$ , e para as constantes  $I_1$  e  $I_2$ , depende da avaliação de 4 casos possíveis:

- Caso 1: quando  $H_{cg} \leq 45$  cm:

$$\text{Se 3ª camada Tipo I: } I_1 = 0, \quad I_2 = 0;$$

$$\text{Se 3ª camada Tipo II: } I_1 = 1, \quad I_2 = 0;$$

$$\text{Se 3ª camada Tipo III: } I_1 = 0, \quad I_2 = 1.$$

- Caso 2: quando  $H_{cg} > 45$  cm:

$$I_1 = 0, \quad I_2 = 1$$

- Caso 3: o  $H_{ef}$  deve ser adotado dentro do seguinte intervalo  $0 \leq H_{ef} \leq H_E$ , onde  $H_E$  é a espessura da camada de revestimento existente, em cm;

- Caso 4: quando o trincamento for significativo (a norma estipula valores bem definidos, mas que não serão citados neste trabalho, por não ser o foco da análise) recomenda-se adotar o limite inferior da  $H_{ef}$ , bem como considerar a solução de recapeamento em camadas integradas de concreto asfáltico e pré-misturado, com a finalidade de minimizar a reflexão de trincas no revestimento projetado.

O critério de fadiga proposto pela norma é semelhante ao indicado pela PRO 011/79, sendo definido pela seguinte equação:

$$D_{adm} = 10^{3,148 - 0,188 \log N} \quad (3.7)$$

Onde:

$D_{adm}$  é a deflexão admissível, em 0,01 mm;

$N$  é o número de repetições do eixo padrão.

Por fim, o dimensionamento do reforço de concreto asfáltico é proposto por meio da seguinte expressão:

$$HR = -19,015 + \frac{238,14}{D_{adm}^2} - 1,357 \cdot H_{ef} + 1,016 \cdot I_1 + 3,893 \cdot I_2 \quad (3.8)$$

Onde:

$HR$  é a espessura de reforço de CBUQ, em cm;

$D_{adm}$  é a deflexão admissível, em 0,01 mm.

Vale observar que a norma também apresenta sugestões quanto ao tipo de solução e material a ser utilizado para diferentes cenários de espessuras de reforço calculadas, além de propor uma metodologia para avaliação da reciclagem do revestimento existente. No entanto essas análises não serão apresentadas no presente trabalho, já que o foco é apenas o cálculo da espessura de reforço.

### 3.3.3. APLICAÇÃO DA PRO-159/85 PARA O CRITÉRIO DEFLECTOMÉTRICO

A metodologia dessa norma visa dar subsídio ao desenvolvimento de um projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semirrígidos, propondo alternativas de soluções em concreto asfáltico, tratamento superficial e em lama asfáltica. Ela propõe a escolha de uma solução por meio da comparação entre alternativas que propiciam desempenho e custos que se enquadram nas restrições impostas. Dentre os parâmetros abordados, são propostos os valores limites usuais de 15% a 40% para o trincamento (TR) e de 50 a 70 cont./km para o Quociente de Irregularidade (QI) – não há menção de valores limites para deflexão.

A equação apresentada para a previsão da deflexão após a execução da camada de reforço com espessura HR é:

$$D_{adm} = D_c \cdot (1 - 0,0687 \cdot HR^{0,415}) \quad (3.9)$$

Onde:

$D_{adm}$  é a deflexão admissível, em 0,01 mm;

$D_c$  é a deflexão característica, em 0,01 mm;

HR é a espessura de reforço de concreto asfáltico, em cm.

Então, a espessura de reforço de concreto asfáltico pode ser facilmente obtida, isolando HR:

$$HR = \frac{(1 - D_{adm}/D_c)^{1/0,415}}{0,0687} \quad (3.10)$$

Ao discorrer sobre a norma em questão, (Pinto & Preussler, 2010) apresentam o modelo abaixo para o cálculo do reforço, também originado da equação (3.6):

$$HR = 634,55 \cdot \left(1 - \frac{\ln D_{adm}}{\ln D_c}\right)^{2,41} \quad (3.11)$$

Como a norma não propõe valores para restringir a deflexão, será adotado o critério de fadiga utilizado na PRO-269/94, resumido pela equação (3.4).

### 3.3.4. APLICAÇÃO DA PRO-159/85 PARA O CRITÉRIO DE IRI

O dimensionamento da camada de reforço asfáltico para correção da irregularidade segue o mesmo princípio apresentado no subitem acima. O modelo proposto para a previsão do QI após a execução do reforço de espessura HR, é:

$$QI_{adm} = 19 + \frac{QI-19}{0,602.HR+1} \quad (3.12)$$

Onde:

$QI_{adm}$  é o quociente de irregularidade admissível, em cont/km.

Isolando HR na equação acima, temos:

$$HR = \frac{QI-QI_{adm}}{(QI_{adm}-19).0,602} \quad (3.13)$$

Como o parâmetro proposto para avaliação da irregularidade é o IRI, ao invés do QI, foi necessário adotar a seguinte correlação proposta por (Paterson, 1976), amplamente utilizada no Brasil:

$$IRI = QI/13 \quad (3.14)$$

## 3.4. CÁLCULO DAS SOLUÇÕES GENÉRICAS DE CONSTRUÇÃO

O dimensionamento dos pavimentos novos consiste em uma etapa mais simples, já que não demanda o cruzamento de tantos dados de entrada. Os cálculos seguirão as diretrizes do método de projeto de pavimentos flexíveis (DNER, 1981), adotando duas faixas de CBR: ( $CBR > 6\%$  e  $CBR \leq 6\%$ ) e serão realizados para cada valor de repetição do eixo padrão associado ao tipo de via e tráfego da Tabela 3.1, contabilizando 6 cenários de carregamento. Como o método citado não avalia a fadiga das camadas cimentadas será feita uma análise das deformações específicas de pontos críticos, por meio do programa ELSYM5. Nessa etapa, espera-se verificar a necessidade de readequar a configuração estrutural do pavimento, propondo a utilização de espessuras mais elevadas ou materiais com melhores características mecânicas.

### 3.4.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE PROJETOS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

O método foi desenvolvido com base no trabalho de Turnbull et al (1962) e de conclusões obtidas na Pista Experimental da AASHTO. O dimensionamento requer apenas a avaliação do número de repetições do eixo padrão associado ao tráfego, do CBR e coeficiente de equivalência estrutural ( $k$ ) de cada camada. A figura abaixo ilustra a estrutura de análise proposta pelo método, bem como os valores limites do CBR para cada faixa, além da nomenclatura utilizada para representar as espessuras necessárias aos cálculos:

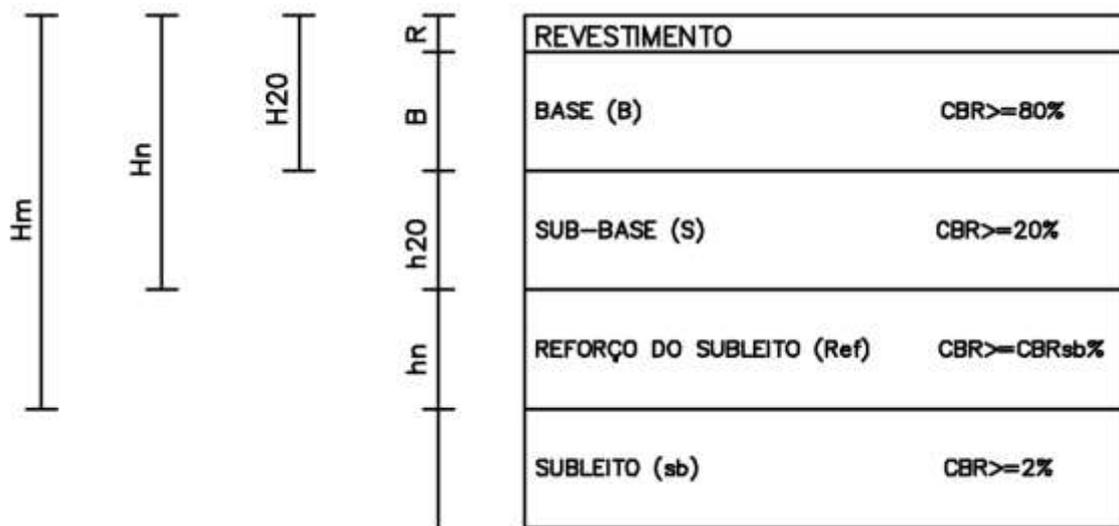


Figura 3.6 – Estrutura do Pavimento proposta pelo método TECNAPV (elaborada pelo autor)

O primeiro passo para o dimensionamento é a escolha do tipo de revestimento betuminoso e sua espessura, que podem ser definidos por meio dos critérios apresentados na figura abaixo, referente às espessuras mínimas da norma em questão. É interessante observar que não há indicação de espessuras mínimas para tratamentos superficiais. Isso se deve ao fato de esses revestimentos possuírem baixa espessura, geralmente determinada pelo diâmetro máximo do agregado utilizado, sendo indicados somente para circunstâncias de baixo tráfego.

N	Espessura mínima de revestimento betuminoso
$N \leq 10^6$	Tramentos superficiais betuminosos.
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura.
$5 \times 10^6 < N < 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura.
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura.
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura.

Figura 3.7 – Espessuras mínimas de Revestimento Betuminoso (DNER, 1981)

Em seguida devem ser calculadas as espessuras de material com coeficiente estrutural igual a 1, necessárias à proteção do subleito, do reforço do subleito e da sub-base, respectivamente representadas por  $H_m$ ,  $H_n$  e  $H_{20}$ . O valor dessas grandezas se relaciona com o CBR da camada a ser protegida e com o número  $N$ , por meio da equação abaixo:

$$H_i = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR_i^{-0,598} \quad (3.15)$$

Onde:

$H_i$  é a espessura, em (cm), de material com coeficiente estrutural igual a 1, necessária para proteger a camada  $i$ ;

$N$  é o número de repetições do eixo padrão;

$CBR_i$  é valor do CBR da camada  $i$ ;

Por fim, a espessura de cada camada deve ser dimensionada por meio das inequações apresentadas abaixo. Nesta etapa, não se considera a contribuição do revestimento composto por tratamento superficial, devido a sua espessura delgada.

$$R \cdot k_R + B \cdot k_B \geq H_{20} \quad (3.16)$$

$$R \cdot k_R + B \cdot k_B + h_{20} \cdot k_S \geq H_n \quad (3.17)$$

$$R \cdot k_R + B \cdot k_B + h_{20} \cdot k_S + h_n \cdot k_{Ref} \geq H_m \quad (3.18)$$

Onde:

$k_R$  é o coeficiente de equivalência estrutural do revestimento;

$k_B$  é o coeficiente de equivalência estrutural da camada de base;

$k_S$  é o coeficiente de equivalência estrutural da camada de sub-base;

$k_{Ref}$  é o coeficiente de equivalência estrutural do reforço do subleito;

O valor dos coeficientes de equivalência estrutural de cada material é proposto pela norma, por meio da figura abaixo:

<b>Componentes do Reforço do Pavimento</b>	<b>Coefficiente de eq estr. (k)</b>
<b>Base ou revestimento de concreto betuminoso</b>	2,00
<b>Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa</b>	1,70
<b>Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa</b>	1,40
<b>Base ou revestimento betuminoso por penetração</b>	1,20
<b>Camadas granulares</b>	1,00
<b>Solo cimento com resistência a compressão a 7 dias superior a 45 kg/cm<sup>2</sup></b>	1,70
<b>Solo cimento com resistência a compressão a 7 dias entre 45 kg/cm<sup>2</sup> e 28 kg/cm<sup>2</sup></b>	1,40
<b>Solo cimento com resistência a compressão a 7 dias entre 28 kg/cm<sup>2</sup> e 21 kg/cm<sup>2</sup></b>	1,20
<b>Bases de solo-cal</b>	1,20

Figura 3.8 – Coeficientes de equivalência estrutural (DNER, 1981)

Vale observar que para cada cenário de tráfego e tipo de subleito existem diversas soluções que satisfazem os critérios de dimensionamento do pavimento. Como os resultados dessa etapa serão reavaliados em uma análise mecanicista, pretende-se propor o dimensionamento mais próximo possível dos limites de aceitação apresentados, possibilitando uma avaliação objetiva quanto a eficácia desses critérios.

### **3.4.1.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO MECANICISTA**

A análise mecanicista visa estimar o número de repetições do eixo padrão rodoviário que levará o revestimento asfáltico ao trincamento por fadiga. Dentre os vários modelos de previsão desse fenômeno apresentados por Pinto & Preussler (2010), será adotado o Modelo do “*Asphalt Istitute*” – MS-1. A escolha se deve à presença de um fator laboratório-campo, que objetiva adequar os resultados à realidade das rodovias. Vale antecipar que nessa análise

não serão avaliados os tratamentos superficiais, pois estes possuem espessura muito delgada e são propostos apenas para cargas leves de tráfego, como foi exposto no subitem 3.4.1. O modelo proposto é descrito pela seguinte equação:

$$N_f = f_0 \cdot C \cdot (4,325 \cdot 10^{-3} \cdot \varepsilon_t^{-3,291} \cdot E^{-0,854}) \quad (3.19)$$

Onde:

$N_f$  é o número de repetições do eixo padrão que leva o revestimento de concreto asfáltico ao trincamento por fadiga;

$f_0$  é o fator laboratório-campo, igual a 18,4;

$C$  é um fator referente ao efeito dos vazios da mistura asfáltica utilizada no revestimento. Para concretos bem projetados, com volume de vazios e de betume respectivamente iguais a 4% e 11%, Pinto & Preussler (2010) propõe o valor de 1,622 para o fator;

$\varepsilon_t$  é a deformação específica máxima de tração na face inferior do revestimento asfáltico;

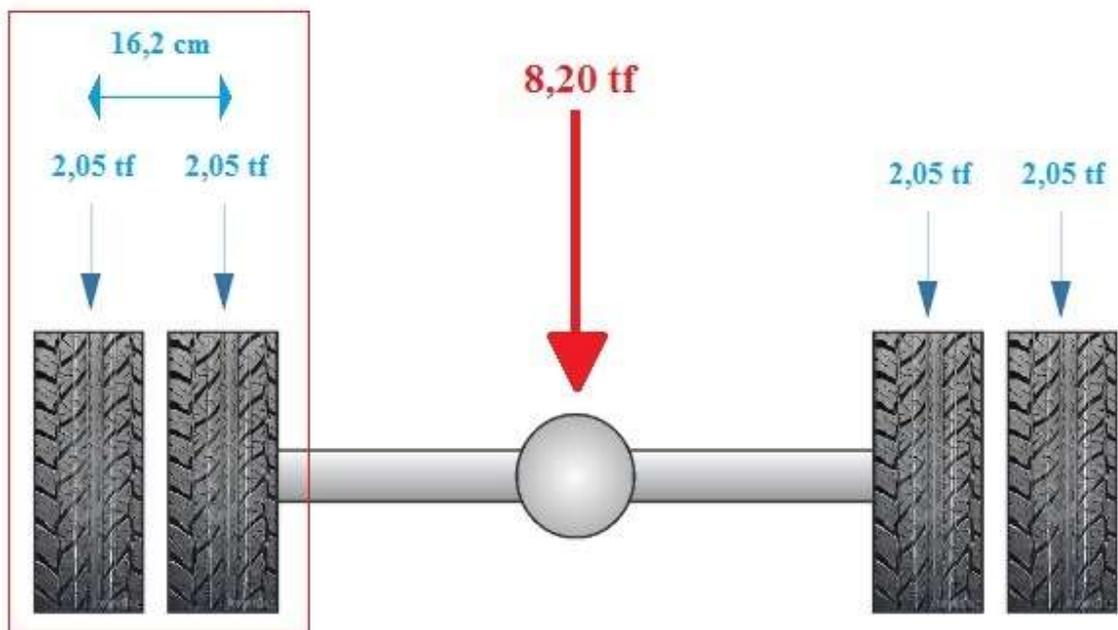
$E$  é o módulo dinâmico do concreto asfáltico, em libras por polegada quadrada (*psi*);

Para o cálculo das deformações específicas, será utilizado o programa ELSYM5, desenvolvido no Instituto de Transportes e Engenharia de Tráfego da Universidade da Califórnia, em Berkeley. As premissas básicas adotadas seguem a teoria de Burmister, considerando um sistema de camadas homogêneas, isotrópicas, linearmente elásticas e horizontalmente infinitas. Como condições de contorno, admite-se contato contínuo entre as camadas, existência de tensões normais ou cisalhantes apenas na superfície carregada e tensões e deformações nulas a uma profundidade infinita. O máximo de cargas e camadas processáveis são, respectivamente, 10 carregamentos iguais, situados em qualquer ponto da superfície do pavimento, e 5 camadas, incluindo o subleito. Para a análise proposta neste trabalho, serão utilizadas apenas duas cargas (referentes a um par de rodas de um dos lados do eixo padrão) e 5 camadas.

Os dados de entrada são divididos em 3 grupos básicos: caracterização do sistema de camadas, do sistema de cargas e identificação dos pontos onde serão avaliadas as deformações, deslocamentos e tensões. Para o primeiro é necessário definir a espessura das camadas (o subleito é identificado com valor zero de espessura), módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson; para o segundo, a quantidade de cargas, magnitude, pressão de

enchimento dos pneus e coordenadas cartesianas; enquanto que o último define-se apenas pela quantidade de pontos no plano xy e eixo z, bem como seus respectivos valores – o programa admite no máximo 100 pontos por análise, ou seja, 10 no plano xy e 10 no eixo z.. Vale destacar que ele utiliza o sistema de unidades norte americano, no qual a distância é aferida em polegadas (in), a força, em libras (lbs), e a tensão, em libras por polegada quadrada (psi).

O sistema de cargas adotado será o carregamento de apenas duas rodas do eixo padrão, devido a sua simetria, ou seja, serão avaliadas apenas o efeito de duas cargas pontuais de 2,05 tf, distantes 16,2 cm uma da outra, e com pressão de enchimento dos pneus igual a 0,56 MPa.



<http://pedreiro.blogspot.com/2012/11/eixo-padrao-rodoviario-passo-passo.html>

Figura 3.9 – Carregamento simétrico – Eixo Padrão (modificada – site pedreiro)

A referência tridimensional adotada foi com a direção x paralela ao eixo que separa as rodas, a profundidade associada à direção z, e a direção y, perpendicular às demais, de modo que a origem do sistema se localize no centro do carregamento, entre ambas as rodas. A deformação específica positiva indica que o elemento estudado sofreu um alongamento na direção analisada, ou seja, foi submetido a uma deformação de tração, enquanto que o oposto sinaliza um encurtamento e, portanto, deformação de compressão.

Quanto aos pontos de estudo das deformações, serão investigados os pares coordenados localizados sob o centro das rodas e no eixo de simetria das mesmas (centro do carregamento), nas profundidades equivalentes a 0,01 polegada acima do limite entre o revestimento e a base, o mesmo entre a base e a sub-base e 0,01 polegada abaixo do limite superior do subleito. Os resultados na camada de base só serão avaliados quando a mesma tiver em sua composição um material cimentante, como no caso da Brita Tratada com Cimento (BGTC). Nessa camada, o número N será estimado pelo Modelo do Corpo de Engenheiros do Exército Norte Americano (USACE) exposto abaixo.

$$N_f = 10^{9,11-0,0578 \cdot \varepsilon_t} \quad (3.20)$$

As deformações calculadas próximas ao limite superior do subleito serão utilizadas para estimar o número de repetições do eixo padrão para o qual as Trilhas de Roda (T.R.) experimentarão uma deformação máxima da ordem de 13 mm. Esse critério não indica um colapso da estrutura, mas vale de referência para sinalizar uma deficiência estrutural, pois tal deformação pode provocar zonas de concentração de tensões no pavimento e antecipar a fadiga do mesmo. Outro benefício dessa avaliação é a possibilidade de verificar a eficiência das camadas granulares com revestimento de tratamento superficial, já que o critério avalia a deformação no subleito. Para isso será adotada espessura 0 para o revestimento, ou seja, a primeira camada será a base. O modelo adotado para essa análise será o desenvolvido pelo *Asphalt Institute*, expresso na equação abaixo.

$$N_p = 1,365 \cdot 10^{-9} \cdot (1/\varepsilon_v)^{4,477} \quad (3.21)$$

Onde:

$N_p$  é o número de repetições do eixo padrão que provoca 13 mm de deformação nas trilhas de roda do revestimento asfáltico;

$\varepsilon_v$  é a deformação específica vertical máxima na face superior do subleito.;

## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1. CÁLCULO DAS SOLUÇÕES GENÉRICAS DE MANUTENÇÃO

Os resultados das soluções de manutenção serão divididos em dois blocos: um referente à adequação do comportamento estrutural, avaliado pela deflexão relativa, e outro do funcional, calculado pelo IRI. Vale lembrar que nesta etapa as soluções serão expressas em cm de espessura de concreto asfáltico. Estas serão calculadas para os valores limites de cada faixa do respectivo parâmetro, a fim de fornecer valores máximos e mínimos, que irão auxiliar a posterior definição do tipo de solução. Os valores de referência utilizados para a deflexão relativa estão descritos na Tabela 4.1, na qual se destaca a inserção da “Faixa 0”, criada com a finalidade de observar os resultados das metodologias propostas para pavimentos que ainda não atingiram a fase de fadiga, mas já tiveram grande perda de rigidez.

Tabela 4.1 – Valores de Referência para as Faixas de Deflexão Relativa (elaborada pelo autor)

Faixa	Referência	Descrição do cenário	
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	Pavimento sem problemas estruturais
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	Pavimento sem problemas estruturais
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	Pavimento com deficiência estrutural leve
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	Pavimento com problemas estruturais
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	Pavimento com grandes problemas estruturais

Analogamente à Tabela 4.1, os valores de referência utilizados para o IRI foram organizados na Tabela 4.2, na qual foram criadas 6 faixas adicionais, no intuito de observar o comportamento dos resultados para valores intermediários aos limites propostos. No entanto, nenhuma dessas faixas contempla valores de IRI abaixo de 2,5 m/km, pois as espessuras necessárias para adequar esse nível de irregularidade são próximas de zero.

Tabela 4.2 – Valores de Referência para as Faixas de IRI (elaborada pelo autor)

Faixa	Referência (m/km)	Descrição do cenário	
<b>Faixa 0 -</b>	<b><math>IRI \leq 2,5</math> (m/km)</b>	<b>2,5</b>	<b>Pavimento sem problemas estruturais (ótimo e bom)</b>
Faixa 1 -	$2,5 < IRI \leq 2,7$ (m/km)	2,7	Pavimentos com certas deficiências funcionais (regular)
Faixa 2 -	$2,7 < IRI \leq 3,0$ (m/km)	3	Pavimentos com certas deficiências funcionais (regular)
Faixa 3 -	$3,0 < IRI \leq 3,5$ (m/km)	3,5	Pavimentos com certas deficiências funcionais (regular)
<b>Faixa 4 -</b>	<b><math>3,5 &lt; IRI \leq 4,0</math> (m/km)</b>	<b>4</b>	<b>Pavimentos com certas deficiências funcionais (regular)</b>
Faixa 5 -	$4,0 < IRI \leq 4,5$ (m/km)	4,5	Pavimentos com grandes problemas funcionais (ruim)
Faixa 6 -	$4,5 < IRI \leq 5,0$ (m/km)	5	Pavimentos com grandes problemas funcionais (ruim)
Faixa 7 -	$5,0 < IRI \leq 5,5$ (m/km)	5,5	Pavimentos com grandes problemas funcionais (ruim)
Faixa 8 -	$5,5 < IRI$ (m/km)	6	Pavimentos com grandes problemas funcionais (ruim)

#### 4.1.1. CRITÉRIO ESTRUTURAL – DEFLEXÃO RELATIVA

Os resultados da aplicação de cada metodologia descrita no subitem 3.3. foram resumidos na

Tabela 4.3 abaixo, enquanto que as etapas intermediárias foram organizadas nos anexos A2 ao A6, devido ao elevado número de tabelas envolvidas. Vale observar que apesar de a PRO-269/94 apresentar 6 cenários de pavimentos que se distinguem principalmente pelo tipo de subleito (I, II ou III) e espessura de camada granular ( $Hcg \leq 45 \text{ cm}$  ou  $Hcg > 45 \text{ cm}$ ), foram criados apenas 3 anexos para os seus resultados. Isso se deve ao fato de todas as espessuras calculadas para pavimentos com  $Hcg > 45 \text{ cm}$  (e mesmo cenário deflectométrico e de carga) serem exatamente as mesmas verificadas para pavimentos com subleito tipo III, uma vez que possuem iguais valores para as constantes  $I_1$  e  $I_2$ .

As espessuras obtidas pela PRO-269/94 e PRO-159/85 apresentaram significativo aumento para cargas de tráfego maiores em relação à tráfegos mais leves, diferentemente da PRO-011/79. Nessa última, devido ao número N ser contemplado apenas no cálculo da deflexão admissível, a sua modificação não faz diferença, uma vez que são propostos valores de deflexão relativa, ou seja, ao aumentar a carga de tráfego obtêm-se menores deflexões admissíveis e, na mesma proporção, menores deflexões características, a fim de manter a relação deflectométrica pré-definida. Nesse sentido, concluiu-se que é necessário ter cautela ao utilizar os resultados da PRO-011/79, uma vez que eles sugerem a execução de iguais espessuras de reforço de CBUQ para pavimentos que receberão diferentes categorias de tráfego.

Para facilitar a leitura e utilização dos resultados desta etapa, foram criadas as colunas de síntese no final da

Tabela 4.3, nas quais foram registrados os valores mínimos, máximos e médios de cada cenário proposto. A coluna “Média Todas” representa as médias das soluções de todas as metodologias, enquanto que a coluna “Média 269/159”, exclui os resultados calculados pela PRO-011/79.

Tabela 4.3 – Resumo das Soluções Referentes à Deflexão Relativa (elaborada pelo autor)

Tráfego	Cenário			PRO-11			PRO-269					PRO-159			Síntese		
	N USACE	Faixa Dc/Dadm	Valor Dc/Dadm referencial	Dadm (0,01 mm)	Dc 0,01 mm)	HR (cm)	Dadm (0,01 mm)	Dc 0,01 mm)	HR (cm)			Dadm (0,01 mm)	Dc 0,01 mm)	HR (cm)	HR (cm)		
									Subleito I	Subleito II	Subleito III				Mínimo	Máximo	Média
Muito Leve	1.00E+04	Faixa 0	0.9	202.3	182.1	0.0	248.9	224.0	0.0	0.0	0.0	248.9	224.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.00E+04	Faixa 1	1.1	202.3	222.5	1.7	248.9	273.8	0.0	0.0	0.0	248.9	273.8	0.0	0.0	1.7	0.4
	1.00E+04	Faixa 2	1.5	202.3	303.5	7.0	248.9	373.3	0.0	0.0	0.0	248.9	373.3	1.0	0.0	7.0	1.8
	1.00E+04	Faixa 3	2.0	202.3	404.6	12.0	248.9	497.8	0.0	0.0	0.0	248.9	497.8	3.2	0.0	12.0	3.0
	1.00E+04	Faixa 4	3.1	202.3	627.1	19.7	248.9	771.5	0.0	0.0	0.0	248.9	771.5	8.9	0.0	19.7	4.9
Leve	1.00E+05	Faixa 0	0.9	134.9	121.4	0.0	161.4	145.3	0.0	0.0	0.0	161.4	145.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.00E+05	Faixa 1	1.1	134.9	148.4	1.7	161.4	177.6	0.0	0.7	0.0	161.4	177.6	0.0	0.0	1.7	0.6
	1.00E+05	Faixa 2	1.5	134.9	202.3	7.0	161.4	242.2	0.0	0.7	1.3	161.4	242.2	1.2	0.0	7.0	2.3
	1.00E+05	Faixa 3	2.0	134.9	269.8	12.0	161.4	322.9	0.0	0.7	2.4	161.4	322.9	3.8	0.0	12.0	3.8
	1.00E+05	Faixa 4	3.1	134.9	418.2	19.7	161.4	500.5	0.0	0.7	3.6	161.4	500.5	10.5	0.0	19.7	6.0
Médio	4.00E+05	Faixa 0	0.9	105.7	95.1	0.0	124.4	112.0	0.3	0.0	0.0	124.4	112.0	0.0	0.0	0.3	0.1
	4.00E+05	Faixa 1	1.1	105.7	116.3	1.7	124.4	136.8	2.1	1.8	0.4	124.4	136.8	0.0	0.0	2.1	1.5
	4.00E+05	Faixa 2	1.5	105.7	158.5	7.0	124.4	186.6	2.3	3.4	2.6	124.4	186.6	1.3	1.3	7.0	3.8
	4.00E+05	Faixa 3	2.0	105.7	211.4	12.0	124.4	248.8	2.3	3.4	4.0	124.4	248.8	4.3	2.3	12.0	5.4
	4.00E+05	Faixa 4	3.1	105.7	327.6	19.7	124.4	385.6	2.3	3.4	5.6	124.4	385.6	11.6	2.3	19.7	7.7
Meio Pesado	5.00E+06	Faixa 0	0.9	67.8	61.0	0.0	77.4	69.6	0.1	0.0	0.0	77.4	69.6	0.0	0.0	0.1	0.0
	5.00E+06	Faixa 1	1.1	67.8	74.5	1.7	77.4	85.1	3.0	2.7	1.3	77.4	85.1	0.1	0.1	3.0	2.1
	5.00E+06	Faixa 2	1.5	67.8	101.6	7.0	77.4	116.1	6.4	6.1	4.7	77.4	116.1	1.7	1.7	7.0	6.1
	5.00E+06	Faixa 3	2.0	67.8	135.5	12.0	77.4	154.7	8.1	8.5	7.1	77.4	154.7	5.3	5.3	12.0	8.9
	5.00E+06	Faixa 4	3.1	67.8	210.1	19.7	77.4	239.9	8.1	9.1	9.6	77.4	239.9	14.2	8.1	19.7	11.6
Pesado	4.00E+07	Faixa 0	0.9	47.0	42.3	0.0	52.3	47.1	0.0	0.0	0.0	52.3	47.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	4.00E+07	Faixa 1	1.1	47.0	51.7	1.7	52.3	57.6	2.6	2.3	1.0	52.3	57.6	0.1	0.1	2.6	1.9
	4.00E+07	Faixa 2	1.5	47.0	70.5	7.0	52.3	78.5	7.7	7.4	6.0	52.3	78.5	2.1	2.1	7.7	7.1
	4.00E+07	Faixa 3	2.0	47.0	94.0	12.0	52.3	104.7	11.2	10.9	9.5	52.3	104.7	6.5	6.5	12.0	10.9
	4.00E+07	Faixa 4	3.1	47.0	145.7	19.7	52.3	162.2	13.9	14.6	13.3	52.3	162.2	16.9	13.3	19.7	15.4
Muito Pesado	1.00E+08	Faixa 0	0.9	40.0	36.0	0.0	44.1	39.6	0.0	0.0	0.0	44.1	39.6	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.00E+08	Faixa 1	1.1	40.0	44.0	1.7	44.1	48.5	2.0	1.7	0.4	44.1	48.5	0.1	0.1	2.0	1.4
	1.00E+08	Faixa 2	1.5	40.0	60.0	7.0	44.1	66.1	8.1	7.8	6.4	44.1	66.1	2.3	2.3	8.1	7.3
	1.00E+08	Faixa 3	2.0	40.0	80.0	12.0	44.1	88.1	12.2	11.9	10.5	44.1	88.1	7.1	7.1	12.2	11.7
	1.00E+08	Faixa 4	3.1	40.0	124.0	19.7	44.1	136.6	16.6	16.3	14.9	44.1	136.6	18.4	14.9	19.7	16.9

#### 4.1.2. CRITÉRIO FUNCIONAL – IRI

A adequação do parâmetro de irregularidade também pode ser feita por meio da execução de uma camada de reforço de concreto asfáltico, a qual a espessura não é dimensionada para resistir ao tráfego, mas sim para tornar a superfície do pavimento mais plana, sem comprometer a interação entre o pneu e o pavimento. Por esse motivo, a equação (3.13) não depende de qualquer parâmetro relacionado à carga gerada pelos veículos. As únicas variáveis que são avaliadas são os quocientes de irregularidade de referência, correspondentes a cada faixa de IRI proposta, e o QI admissível de 29 contagens por quilômetro, equivalente ao IRI admissível de 2,25 (m/km), que representa o valor da irregularidade projetado para o pavimento após a intervenção. Vale lembrar que foi utilizada a equação (3.14) para correlacionar os valores de IRI para QI. Sendo assim, os resultados encontrados estão resumidos na Tabela 4.4 abaixo. Com relação às espessuras encontradas é interessante destacar que o valor de 0,5 (cm) calculado para a faixa 1 da Tabela 3.5 é mínimo, o que evidencia a boa condição funcional do pavimento, como proposto no subitem 3.2.3.

Tabela 4.4 – Soluções referentes à adequação do IRI (elaborada pelo autor)

Faixa de IRI	IRI de referência		QI (Cont./km)	IRI adm (m/km)	QI adm (Cont./km)	HR referente ao IRI (cm)
Faixa 0 -	$IRI \leq 2,5$ (m/km)	2,5	33	2,25	29	0,5
Faixa 1 -	$2,5 < IRI \leq 2,7$ (m/km)	2,70	35	2,25	29	0,9
Faixa 2 -	$2,7 < IRI \leq 3,0$ (m/km)	3,00	39	2,25	29	1,6
Faixa 3 -	$3,0 < IRI \leq 3,5$ (m/km)	3,50	46	2,25	29	2,6
Faixa 4 -	$3,5 < IRI \leq 4,0$ (m/km)	4,00	52	2,25	29	3,7
Faixa 5 -	$4,0 < IRI \leq 4,5$ (m/km)	4,50	59	2,25	29	4,7
Faixa 6 -	$4,5 < IRI \leq 5,0$ (m/km)	5,00	65	2,25	29	5,8
Faixa 7 -	$5,0 < IRI \leq 5,5$ (m/km)	5,50	72	2,25	29	6,8
Faixa 8 -	$5,5 < IRI$ (m/km)	6,00	78	2,25	29	7,9

#### 4.2. CONSTRUÇÃO DO CATÁLOGO DE MANUTENÇÃO

O objetivo deste subitem é demonstrar como foram definidas as tipologias de solução de cada cenário de pavimento, bem como apresentar o catálogo de manutenção desenvolvido e a proposta de como ele pode ser utilizado.

#### 4.2.1. DEFINIÇÃO DOS TIPOS DE SOLUÇÃO POR DEFEITO E TRÁFEGO

A definição dos tipos de solução depende das categorias de defeitos verificados no pavimento, devido à particularidade de cada patologia, principalmente no que concerne aos mecanismos de deterioração envolvidos. Sendo assim, inicialmente foram idealizadas soluções específicas para cada parâmetro de desempenho, em cada cenário de tráfego, pois o primeiro guarda a informação do fenômeno de deterioração que se deseja retardar e o segundo, a qualidade necessária à solução para que o pavimento funcione durante o período projetado. Foram organizadas na Tabela 4.5 abaixo, as siglas utilizadas para representar as soluções dos catálogos e demais tabelas desenvolvidas.

Tabela 4.5 – Representação dos Tipos de Solução Adotados (elaborada pelo autor)

<b>Sigla</b>	<b>Descrição da Intervenção</b>
Selagem	Selagem de trincas com emulsão asfáltica.
REPx/y	Reperfilagem com aplicação de concreto asfáltico com espessura de "x" cm a "y" cm.
REPx	Reperfilagem com aplicação de concreto asfáltico com espessura de "x" cm.
Fsp	Fresagem parcial, somente nas áreas trincadas, de 5 cm de espessura, com reposição de 5 cm em concreto asfáltico.
Fsc	Fresagem contínua de 5 cm de espessura, com reposição de 5 cm em concreto asfáltico.
TSS	Tratamento superficial simples.
TSD	Tratamento superficial duplo.
HRx/y	Revestimento de concreto asfáltico com espessura de "x" cm a "y" cm.
HRx	Reforço estrutural de concreto asfáltico com espessura de "x" cm.
MI	Micro revestimento asfáltico a frio.
TSDpol	Tratamento superficial duplo com ligante modificado com polímero.
Hrpol x	Reforço estrutural de concreto asfáltico modificado por polímero com espessura de "x" cm.
REC n	Reconstrução do segmento, em que n varia de 1 a 6, de acordo com o catálogo de pavimentos novos.

Além dos parâmetros de deterioração utilizados até agora, relacionou-se mais dois outros dispositivos necessários ao correto desempenho do revestimento asfáltico: a aderência superficial e a capacidade de bloquear a propagação de trincas ascendentes. O primeiro será utilizado para abordar a necessidade de melhorar a interação entre o pneu dos veículos e a superfície do pavimento, para proporcionar maior segurança aos condutores, enquanto que o segundo visará às circunstâncias em que for necessário atrasar a reflexão de trincas já existentes para o novo revestimento asfáltico.

Em resumo, a adequação da deflexão está relacionada ao aumento de rigidez do pavimento; do IRI, à planificação da superfície do revestimento; do TR, ao selamento ou

remoção (fresagem) das trincas existentes; da Aderência Superficial (Ad. Sup.), à adequação da macrot textura do revestimento; e do Bloqueio de Trincas (Bloq. TR), à execução de uma camada flexível sob o revestimento novo. Com relação à deflexão e o IRI, as soluções genéricas calculadas no subitem 4.1. auxiliam na escolha do tipo de revestimento que será adotado, como a opção por tratamentos superficiais, quando a espessura necessária for abaixo de 3 cm, pois acima desse valor é mais recomendável utilizar o concreto asfáltico, devido à sua maior rigidez e resistência. Com relação aos demais parâmetros, as soluções foram propostas seguindo o catálogo modelo, apresentado em (DNIT, 2015). Desta forma, as intervenções para adequar esses parâmetros de forma isolada foram organizadas no Anexo A7.

#### **4.2.2. CATÁLOGO DE SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO**

Após definir as soluções isoladas do anexo A7, cada uma foi atribuída ao seu respectivo cenário de deterioração, representado por um dos códigos da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Tabela 3.7, pg 35, gerando o catálogo de soluções genéricas ilustrado no Anexo A8. Nesta etapa, foi necessário avaliar a ocorrência simultânea de parâmetros cujas soluções abordam os mesmos tipos de defeitos ou mecanismos de deterioração. Por exemplo, tanto a adequação do IRI, como da deflexão envolvem a execução de uma camada de mistura asfáltica, que, dependendo da espessura e composição, é capaz de simultaneamente planificar a superfície do revestimento e adequar a rigidez. Como, na maioria dos casos, a variável de desempenho estrutural envolve dimensões mais espessas, será ela quem ditará o dimensionamento dos valores mínimos do reforço asfáltico.

Vale observar que, diferente das soluções dos demais parâmetros, as espessuras de CBUQ voltadas à correção da deflexão estão indicadas com a incógnita “x”. Isso se deve à versatilidade de resultados resumidos na

Tabela 4.3., os quais definem diferentes limites de espessuras cujas escolhas dependem da experiência de cada profissional. Nesta etapa, optou-se por não definir valores fixos para esses intervalos, sendo que a escolha dos mesmos pode ser auxiliada pela própria

Tabela 4.3, ou pelos anexos A8, A10 e A11, construídos com as soluções calculadas no subitem 4.1. para os respectivos tipos de subleito, organizado-as dentro da estrutura do catálogo. Além das diretrizes apresentadas até agora, a definição da solução de cada cenário de pavimento pode envolver aspectos particulares. Para facilitar a explanação do objetivo e peculiaridade de cada intervenção proposta, foi criado o anexo A12, que contém uma tabela identificando o código dos cenários aos quais cada solução se aplica bem como o resumo das justificativas para as ações propostas.

Apesar do benefício gerado por um catálogo que permite a subjetividade de cada profissional para escolha da solução (dentro um conjunto de soluções adequadas ao cenário macroscópico), esta característica também representa um obstáculo para a automação de um SGP, uma vez que podem existir mais de uma opção de solução para pavimentos com as mesmas características. Dessa forma, viu-se a necessidade de propor um catálogo gerencial com tipologias de solução e espessuras únicas para cada célula. Para isso, primeiro, definiram-se medidas representativas de cada faixa de parâmetro, procurando escolher valores próximos da média dos limites que definem as respectivas faixas, os quais foram representados na Tabela 4.6, Tabela 4.7 e Tabela 4.8.

Tabela 4.6 – Valores Gerenciais – DC/Dadm (elaborada pelo autor)

Tráfego x1	Dc/Dadm x2	Faixas	Cenário Estrutural	Dc/Dadm Adotado
x1 >= 5	x2 = 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	Sem problemas estruturais	0,9
	x2 = 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	Deficiências estrutural leve	1,3
	x2 = 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	Com problemas estruturais	1,7
	x2 = 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	Grandes problemas estruturais	2,5
x1 < 5	x2 = 1	$Dc/Dadm \leq 1,1$	Sem problemas estruturais	0,9
	x2 = 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 3,1$	Grandes problemas estruturais	2

Tabela 4.7 – Valores Gerenciais – IRI (elaborada pelo autor)

IRI x3	Faixas	Cenário Estrutural	IRI Adotado
x3 = 1	$IRI \leq 2,5$ m/km	Sem problemas funcionais	2,2
x3 = 2	$2,5 < IRI \leq 4,0$ m/km	Certas deficiências funcionais	3,3
x3 = 3	$4,0 < IRI$ m/km	Grandes problemas funcionais	5,0

Tabela 4.8 – Valores Gerenciais – TR (elaborada pelo autor)

TR x4	Faixas	Cenário Estrutural	TR Adotado
x4 = 1	TR ≤ 10%	Sem problemas funcionais	7%
x4 = 2	TR >10%	Podem haver problemas funcionais	13%

O passo seguinte foi de reescrever a Tabela 4.5 com as espessuras definidas para as soluções de reperfilagem (REP), revestimento de concreto asfáltico com polímero (HRpol) e sem polímero (HR).

Tabela 4.9 - Representação das Solução Gerenciais Adotadas (elaborada pelo autor)

<b>Sigla</b>	<b>Descrição da Intervenção</b>
Selagem	Selagem de trincas com emulsão asfáltica.
REP2	Reperfilagem com aplicação de concreto asfáltico com espessura de 2 cm.
Fsp	Fresagem parcial, somente nas áreas trincadas, de 5 cm de espessura, com reposição de 5 cm em concreto asfáltico.
Fsc	Fresagem contínua de 5 cm de espessura, com reposição de 5 cm em concreto asfáltico.
TSS	Tratamento superficial simples.
TSD	Tratamento superficial duplo.
HR3	Reforço estrutural de concreto asfáltico com espessura de 3 cm.
HR5	Reforço estrutural de concreto asfáltico com espessura de 5 cm.
HR7	Reforço estrutural de concreto asfáltico com espessura de 7 cm.
HR9	Reforço estrutural de concreto asfáltico com espessura de 9 cm.
HR13	Reforço estrutural de concreto asfáltico com espessura de 13 cm.
MI	Micro revestimento asfáltico a frio.
TSDpol	Tratamento superficial duplo com ligante modificado com polímero.
Hrpol 3	Reforço estrutural de concreto asfáltico modificado por polímero com espessura de 3 cm.
Hrpol 5	Reforço estrutural de concreto asfáltico modificado por polímero com espessura de 5 cm.
Hrpol 7	Reforço estrutural de concreto asfáltico modificado por polímero com espessura de 7 cm.
Hrpol 9	Reforço estrutural de concreto asfáltico modificado por polímero com espessura de 9 cm.
Hrpol 13	Reforço estrutural de concreto asfáltico modificado por polímero com espessura de 13 cm.
REC 5	Reconstrução número 5 do segmento, de acordo com o catálogo de pavimentos novos.
REC 6	Reconstrução número 6 do segmento, de acordo com o catálogo de pavimentos novos.

Por fim, desenvolveu-se o catálogo gerencial da

Tabela 4.10, no qual destaca-se o fato de as duas primeiras faixas de tráfego terem resultado exatamente nas mesmas soluções. Ao definir valores médios ficou evidente a semelhança das deficiências funcionais e estruturais dos cenários dos dois grupos de tráfego

menos intenso, de modo que possam ser adequadas por soluções de caráter mínimo, como a aplicação de espessura de 3 cm de HR para um cenário com deficiência estrutural. Desse modo, conclui-se que o grupo de tráfego “Muito Leve” poderia ser suprimido do catálogo e qualquer rodovia “Local” poderia ser avaliada como se fosse “Local ou Coletora”.

Comparando o resultado com o modelo do DNIT, de modo geral, nota-se a semelhança das soluções propostas com pequenas variações de espessura de reforço, exceto para os cenários dimensionados com 20 anos de período de projeto, os quais apresentaram significativa diferença, como esperado. Por exemplo, uma rodovia com VMDc igual a 500, Dc/Dadm igual a 2,5, IRI igual a 3,0 m/km e TR < 10%; seria diagnosticada pelo catálogo do DNIT com a solução 1221, correspondente à execução de um reforço de CBUQ com 4 cm de espessura, enquanto que para o catálogo de manutenção proposto e descrito na Tabela 4.10, a mesma rodovia seria diagnosticada com a solução 5421, correspondente à execução de um reforço asfáltico de 13 cm de espessura. A diferença de 9 cm de reforço não significa necessariamente que algum dos resultados esteja inadequado, uma vez que essas intervenções devem dar sobrevidas diferentes ao pavimento, já que o período de dimensionamento adotado no para uma é o dobro da outra. No entanto, essa comparação evidencia o efeito do aumento do período de projeto na espessura do reforço, citado no subitem 3.2.1, o que pode propiciar uma redução da frequência de intervenções no trecho em questão, diminuindo também o impacto dos congestionamentos sobre os custos dos usuários, ao longo da vida útil do pavimento. Tal efeito é maximizado para trechos com altos volumes de tráfego, não só de veículos comerciais, mas também de veículos de passeio, uma vez que estes também se beneficiam da redução no tempo de viagem proporcionada pela menor necessidade de intervenção do pavimento, o que torna mais viável a proposição do aumento do período de projeto para os cenários urbanos, defendida neste trabalho.

Tabela 4.10 - Catálogo de Soluções Gerenciais de Manutenção (elaborada pelo autor)

Função da Via		LOCAL		LOCAL OU COLETORA		COLETORA OU ARTERIAL		ARTERIAL OU DE TRÂNSITO RÁPIDO									
Tráfego		MUITO LEVE (VMDc ≤ 3)		LEVE (3 < VMDc ≤ 20)		MÉDIO (20 < VMDc ≤ 100)		MEIO PESADO (100 < VMDc ≤ 300)		PESADO (300 < VMDc ≤ 1000)			MUITO PESADO (1001 < VMDc ≤ 2000)				
Funcional	Estrutural	De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,1	1,1 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 3,1	De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,1	1,1 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 3,1	De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,1	1,1 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 3,1	De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,1	1,1 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 3,1	De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,1	1,1 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,5	1,5 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 2,0	2,0 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 3,1	De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,1	1,1 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,5	1,5 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 2,0	2,0 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 3,1
	IRI ≤ 2,5 m/km QI ≤ 32,5 cont/km	TR ≤ 10%	Selagem	HR3	Selagem	HR3	Selagem	HR5	MI	HR7	MI	HR5	HR9	HR13	MI	HRpol 5	HRpol 9
TR > 10%		TSS	HR3	TSS	HR3	TSD	HR5	FSp + MI	FSp + HR7	FSp + MI	FSp + HR5	FSp + HR9	FSp + HR13	FSp + MI	FSp + HRpol 5	FSp + HRpol 9	FSp + HRpol 13
2,5 < IRI ≤ 4,0 m/km 32,5 < QI ≤ 52,0 cont/km	TR ≤ 10%	REP2 + TSS	HR3	REP2 + TSS	HR3	REP2 + TSD	HR5	REP2 + TSD	HR7	HR3	HR5	HR9	HR13	HRpol 3	HRpol 5	HRpol 9	HRpol 13
	TR > 10%	REP2 + TSD	TSS + HR3	REP2 + TSD	TSS + HR3	REP2 + TSD	FSp + TSS + HR5	FSp + REP2 + TSD	FSp + TSD + HR7	FSp + TSD + HR3	FSp + TSD + HR5	FSp + TSD + HR9	REC 5	FSp + TSDpol + HRpol 3	FSp + TSDpol + HRpol 5	FSp + TSDpol + HRpol 9	REC 6
IRI > 4,0 m/km QI > 52,0 cont/km	TR ≤ 10%	REP2 + HR5	REP2 + HR5	REP2 + HR5	REP2 + HR5	REP2 + HR5	REP2 + HR5	REP2 + HR5	REP2 + HR7	REP2 + HR5	REP2 + HR5	REP2 + HR9	REC 5	REP2 + HRpol 5	REP2 + HRpol 5	REC 6	REC 6
	TR > 10%	FSe + TSS + HR5	FSe + TSS + HR5	FSe + TSS + HR5	FSe + TSS + HR5	FSe + TSS + HR5	FSe + TSS + HR5	FSe + TSD + HR5	FSe + TSD + HR7	FSe + TSDpol + HR5	FSe + TSDpol + HR5	REC 5	REC 5	FSe + TSDpol + HRpol 5	REC 6	REC 6	REC 6

### 4.3. CÁLCULO DAS SOLUÇÕES DE CONSTRUÇÃO

O objetivo deste subitem é determinar as soluções para construção de pavimentos novos e reconstrução de pavimentos em estágio avançado de deterioração, de modo que estas estejam adequadas às normas e manuais estabelecidos pelo DNIT, sem apresentar defeitos precoces devido à fadiga da estrutura.

#### 4.3.1. MÉTODO DE PROJETOS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Os materiais propostos para o revestimento das soluções foram escolhidos com referência na tabela do método, ilustrada na Figura 3.7, enquanto que para as demais camadas, a referência foi a matriz de solução de reconstrução/pavimento novo apresentada em DNIT (2015). Foram desenvolvidas 12 tabelas, uma para cada cenário de tráfego e CBR do subleito, com o cálculo dos parâmetros apresentados no subitem 3.4.1, estando elas organizadas no anexo A13. O resumo dos resultados foi organizado na Tabela 4.11 e Tabela 4.12 abaixo.

Tabela 4.11 - Catálogo de Reconstrução/Pavimentos Novos - CBR Sb ≤ 6% (elaborada pelo autor)

Tipo de Pavimento	Função da Via	Tráfego Previsto	Faixa de N	Código	Revestimento		Base		Sub-base		Reforço	
					Tipo	H (cm)	Tipo	H (cm)	Tipo	H (cm)	Tipo	H (cm)
Flexível	Via Local	Muito Leve	$N \leq 1,0E+04$	REC1	TSD	-	Solo estab. CBR ≥ 80%	20,0	Solo CBR ≥ 20%	15,0	Solo CBR = 12%	15,0
	Via Local ou Coletora	Leve	$1,0E+04 < N \leq 1,0E+05$	REC2	TSD	-	Solo estab. CBR ≥ 80%	25,0	Solo CBR ≥ 20%	15,0	Solo CBR = 12%	15,0
	Via Coletora ou Arterial	Médio	$1,0E+05 < N \leq 4,0E+05$	REC3	TSD	-	Solo estab. CBR ≥ 80%	25,0	Solo CBR ≥ 20%	15,0	Solo CBR = 12%	15,0
	Via arterial ou de trânsito rápido	Meio Pesado	$4,0E+05 < N \leq 5,0E+06$	REC4	CBUQ	5,0	Solo estab. CBR ≥ 80%	20,0	Solo CBR ≥ 20%	15,0	Solo CBR = 12%	20,0
		Pesado	$5,0E+06 < N \leq 4,0E+07$	REC5	CBUQ	10,0	BGS. CBR ≥ 80%	15,0	Solo CBR ≥ 20%	15,0	Solo CBR = 12%	20,0
Semi-Rígido		Muito Pesado	$4,0E+07 < N \leq 1,0E+08$	REC6	CBUQ	12,5	BGTC CBR ≥ 80%	15,0	BGS CBR ≥ 20%	15,0	Solo CBR = 12%	25,0

Tabela 4.12 - Catálogo de Reconstrução/Pavimentos Novos - CBR Sb > 6% (elaborada pelo autor)

Tipo de Pavimento	Função da Via	Tráfego Previsto	Faixa de N	Código	Revestimento		Base		Sub-base		Reforço	
					Tipo	H (cm)	Tipo	H (cm)	Tipo	H (cm)	Tipo	H (cm)
Flexível	Via Local	Muito Leve	$N \leq 1,0E+04$	REC1	TSD	-	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	20	Solo CBR $\geq 20\%$	15	Solo CBR = 12%	-
	Via Local ou Coletora	Leve	$1,0E+04 < N \leq 1,0E+05$	REC2	TSD	-	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	25	Solo CBR $\geq 20\%$	15	Solo CBR = 12%	-
	Via Coletora ou Arterial	Médio	$1,0E+05 < N \leq 4,0E+05$	REC3	TSD	-	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	25	Solo CBR $\geq 20\%$	20	Solo CBR = 12%	-
	Via arterial ou de trânsito rápido	Meio Pesado	$4,0E+05 < N \leq 5,0E+06$	REC4	CBUQ	5,0	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	20	Solo CBR $\geq 20\%$	20	Solo CBR = 12%	-
		Pesado	$5,0E+06 < N \leq 4,0E+07$	REC5	CBUQ	10,0	BGS. CBR $\geq 80\%$	15	Solo CBR $\geq 20\%$	20	Solo CBR = 12%	-
Semi-Rígido		Muito Pesado	$4,0E+07 < N \leq 1,0E+08$	REC6	CBUQ	12,5	BGTC CBR $\geq 80\%$	15	BGS CBR $\geq 20\%$	15	Solo CBR = 12%	-

#### 4.3.2. MÉTODO MECANICISTA

Os módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson dos materiais utilizados foram adotados tomando como referência os valores apresentados em Medina (1997) e na tese de doutorado de Fontenelle (2011), estando eles relacionados na tabela abaixo.

Tabela 4.13 – Materiais utilizados para caracterização das camadas (elaborada pelo autor)

Material	E (Mpa)	Poisson
CBUQ	3000	0,30
BGTC	1500	0,35
Laterita	600	0,35
BGS	400	0,35
Solo estab.	300	0,35
Solo (Sub-base)	200	0,35
Solo (Reforço)	150	0,35
Subleito- CBR > 6 %	100	0,45
Subleito- CBR $\leq 6$ %	50	0,45

Os dados de entrada para caracterizar as camadas da primeira análise mecanicista são os resultados calculados no subitem 4.3.1. Para facilitar a comparação dos resultados, as soluções da Tabela 4.11 e Tabela 4.12 foram resumidas abaixo.

Tabela 4.14 – Análise Mecanicista 1: Sistema de Camadas (elaborada pelo autor)

Tráfego	CBR Subleito	Revestimento		Base		Sub-base		Reforço		N Projeto
		H (cm)	Módulo (Mpa)	H (cm)	Módulo (Mpa)	H (cm)	Módulo (Mpa)	H (cm)	Módulo (Mpa)	
Muito Leve	≤ 6	0	0	20	300	15	200	15	150	1,0E+04
Leve	≤ 6	0	0	25	300	15	200	15	150	1,0E+05
Médio	≤ 6	0	0	25	300	15	200	15	150	4,0E+05
Meio Pesado	≤ 6	5	3000	20	300	15	200	20	150	5,0E+06
Pesado	≤ 6	10	3000	15	400	15	200	20	150	4,0E+07
Muito Pesado	≤ 6	12,5	3000	15	1500	15	400	25	150	1,0E+08
Muito Leve	>6	0	0	20	300	15	200	0	0	1,0E+04
Leve	>6	0	0	25	300	15	200	0	0	1,0E+05
Médio	>6	0	0	25	300	20	200	0	0	4,0E+05
Meio Pesado	>6	5	3000	20	300	20	200	0	0	5,0E+06
Pesado	>6	10	3000	15	400	20	200	0	0	4,0E+07
Muito Pesado	>6	12,5	3000	15	1500	15	400	0	0	1,0E+08

De modo geral, para a fibra inferior do revestimento verificou-se as maiores deformações específicas de tração na direção  $y$ , localizadas na região abaixo da roda, diferente da face inferior da base cimentada, onde os maiores valores ocorreram abaixo do centro do carregamento, mas também na direção  $y$ . Essa diferença provavelmente se deve à sobreposição dos bulbos de tensões de ambas as cargas nessa região, o que provoca um aumento do encurtamento vertical, compensado por um maior alongamento nas demais direções. Provavelmente pelo mesmo motivo, constatou-se que todos os encurtamentos verticais críticos do topo do subleito ocorreram na mesma região.

Com relação à previsão da fadiga e afundamento da trilha de roda, verificou-se que apenas os pavimentos do tráfego Meio Pesado e Pesado não estavam adequados, por ambos os critérios, estando os resultados destes dois cenários destacados na Tabela 4.15. Como esperado, as soluções para os 3 tráfegos mais leves se mostraram satisfatórias, mesmo com o revestimento delgado de tratamento superficial (desprezado na análise). Apesar do tráfego Muito Pesado possuir o maior valor de  $N$  de projeto, e, portanto ser o mais crítico para a análise, suas soluções foram as únicas, dentre as propostas com revestimento de CBUQ, que se mostraram adequadas a ambas as verificações. Como a indicação dos materiais das camadas abaixo do revestimento foram análogas às adotadas pelo catálogo modelo (DNIT, 2015), foi proposta a utilização de BGTC para o cenário discutido, de modo que o elevado módulo dinâmico desse material proporcionou adequadas deformações ao revestimento, dimensionado pelo método tradicional.

Tabela 4.15 – Análise Mecanicista 1: Resultados (elaborada pelo autor)

Tráfego	CBR Subleito	N Projeto	Revestimento				Base Cimentada				Topo do Subleito		
			E (m/m)	Direção	Local	N Fadiga	E (m/m)	Direção	Local	N Fadiga	Ez (m/m)	Local	N 13 mm
Muito Leve	≤ 6	<b>1,0E+04</b>	-	y	Roda	-	-	-	-	-	-6,46E-04	Centro	2,6E+05
Leve	≤ 6	<b>1,0E+05</b>	-	y	Roda	-	-	-	-	-	-3,82E-04	Centro	2,7E+06
Médio	≤ 6	<b>4,0E+05</b>	-	y	Roda	-	-	-	-	-	-3,82E-04	Centro	2,7E+06
Meio Pesado	≤ 6	<b>5,0E+06</b>	2,50E-04	y	Roda	<b>1,4E+06</b>	-	-	-	-	-4,16E-04	Centro	<b>1,9E+06</b>
Pesado	≤ 6	<b>4,0E+07</b>	1,92E-04	y	Roda	<b>3,4E+06</b>	-	-	-	-	-2,51E-04	Centro	<b>1,8E+07</b>
Muito Pesado	≤ 6	<b>1,0E+08</b>	5,81E-05	y	Roda	1,8E+08	1,08E-04	y	Centro	1,3E+09	-1,49E-04	Centro	1,9E+08
Muito Leve	>6	<b>1,0E+04</b>	-	y	Roda	-	-	-	-	-	-6,91E-04	Centro	1,9E+05
Leve	>6	<b>1,0E+05</b>	-	y	Roda	-	-	-	-	-	-5,83E-04	Centro	4,1E+05
Médio	>6	<b>4,0E+05</b>	-	y	Roda	-	-	-	-	-	-5,02E-04	Centro	8,1E+05
Meio Pesado	>6	<b>5,0E+06</b>	2,56E-04	y	Roda	<b>1,3E+06</b>	-	-	-	-	-4,38E-04	Centro	<b>1,5E+06</b>
Pesado	>6	<b>4,0E+07</b>	1,93E-04	y	Roda	<b>3,4E+06</b>	-	-	-	-	-3,71E-04	Centro	<b>3,1E+06</b>
Muito Pesado	>6	<b>1,0E+08</b>	6,01E-05	y	Roda	1,6E+08	1,07E-04	y	Centro	1,3E+09	-1,56E-04	Centro	1,5E+08

Observando as relações entre o N estimado por cada critério e o N de projeto (Np), apresentadas na tabela abaixo, fica evidente que as soluções propostas pelo método tradicional foram superdimensionadas para os três tráfegos mais baixos e subdimensionadas para os demais, com exceção do tráfego Muito Pesado, de modo que o pavimento do cenário Pesado fadigaria com menos de 10% de repetições do N total projetado.

Tabela 4.16 – Relação entre N de fadiga e afundamento da T.R. com o N de projeto (elaborada pelo autor)

Tráfego	CBR Subleito	Np Projeto	Nf Fadiga	Nf/Np	N13 13 mm	N13/Np
Muito Leve	≤ 6	1,0E+04	-	-	2,6E+05	26,04
Leve	≤ 6	1,0E+05	-	-	2,7E+06	27,37
Médio	≤ 6	4,0E+05	-	-	2,7E+06	6,84
Meio Pesado	≤ 6	<b>5,0E+06</b>	<b>1,4E+06</b>	<b>0,29</b>	<b>1,9E+06</b>	<b>0,37</b>
Pesado	≤ 6	<b>4,0E+07</b>	<b>3,4E+06</b>	<b>0,09</b>	<b>1,8E+07</b>	<b>0,45</b>
Muito Pesado	≤ 6	1,0E+08	1,8E+08	1,76	1,9E+08	1,85
Muito Leve	>6	1,0E+04	-	-	1,9E+05	19,27
Leve	>6	1,0E+05	-	-	4,1E+05	4,12
Médio	>6	4,0E+05	-	-	8,1E+05	2,01
Meio Pesado	>6	<b>5,0E+06</b>	<b>1,3E+06</b>	<b>0,27</b>	<b>1,5E+06</b>	<b>0,30</b>
Pesado	>6	<b>4,0E+07</b>	<b>3,4E+06</b>	<b>0,08</b>	<b>3,1E+06</b>	<b>0,08</b>
Muito Pesado	>6	1,0E+08	1,6E+08	1,57	1,5E+08	1,51

A segunda análise mecanicista consistirá no redimensionamento dos pavimentos ainda inadequados aos seus respectivos tráfegos. Para chegar ao conjunto de espessuras e módulos

de camadas que reduzisse a deformação específica de tração (positiva), ou seja, o alongamento das fibras inferiores do revestimento asfáltico, adotaram-se duas estratégias:

- 1º. Aumentar gradativamente a espessura de cada camada granular até um valor limite de 30 cm, para então variar os módulos – considerando apenas os valores listados na Tabela 4.13 -, e, por último, aumentar a espessura do revestimento em 2,5 cm, repetindo o ciclo até igualar o  $N_f$  com o  $N_p$ ;
- 2º. Substituir o material da base por uma BGTC e, caso não seja suficiente, repetir a primeira estratégia, ou caso contrário, reduzir gradativamente as espessuras das subcamadas até um valor mínimo de 15 cm.

Os resultados da primeira estratégia foram divididos nas tabelas abaixo, de modo que a Tabela 4.17 reúne as soluções redimensionadas e a Tabela 4.18, os resultados da avaliação dessas propostas. Na primeira foram destacados os campos que sofreram alteração, sendo para o tráfego Meio Pesado apenas o material da base, substituindo o solo estabilizado por Brita Graduada Simples (BGS), e aumentando a espessura da sub-base para 20 cm.

Tabela 4.17 – Análise Mecanicista 2: Sistema de Camadas – Estratégia 1 (elaborada pelo autor)

Tráfego	CBR Subleito	Revestimento		Base		Sub-base		Reforço	
		H (cm)	Módulo (Mpa)	H (cm)	Módulo (Mpa)	H (cm)	Módulo (Mpa)	H (cm)	Módulo (Mpa)
Meio Pesado	≤ 6	5	3000	20	<b>600</b>	<b>20</b>	200	20	150
Pesado	≤ 6	<b>15</b>	3000	<b>30</b>	<b>600</b>	<b>30</b>	<b>400</b>	<b>30</b>	<b>300</b>
Meio Pesado	>6	5	3000	20	<b>600</b>	<b>25</b>	200	0	0
Pesado	>6	<b>15</b>	3000	<b>30</b>	<b>600</b>	<b>30</b>	<b>400</b>	0	0

Para o Tráfego Pesado, não foi possível determinar uma solução adequada, pois a espessura total do pavimento já estava superior a 1,0 m e ainda assim seria necessário aumentar a espessura do revestimento asfáltico. É interessante observar que o critério de dimensionamento preponderante para o Tráfego Meio Pesado foi o afundamento das trilhas de roda, enquanto que para o Pesado foi a fadiga do revestimento.

Tabela 4.18 – Análise Mecanicista 2: Resultados – Estratégia 1 (elaborada pelo autor)

Tráfego	CBR Subleito	N Projeto	Revestimento				Base Cimentada				Topo do Subleito		
			E (m/m)	Direção	Local	N Fadiga	E (m/m)	Direção	Local	N Fadiga	Ez (m/m)	Local	N 13 mm
Meio Pesado	≤ 6	<b>5,0E+06</b>	1,14E-04	y	Roda	1,9E+07	-	-	-	-	-3,19E-04	Centro	<b>6,1E+06</b>
Pesado	≤ 6	<b>4,0E+07</b>	1,00E-04	y	Roda	<b>2,9E+07</b>	-	-	-	-	-1,02E-04	Centro	1,0E+09
Meio Pesado	>6	<b>5,0E+06</b>	1,19E-04	y	Roda	1,7E+07	-	-	-	-	-3,24E-04	Centro	<b>5,7E+06</b>
Pesado	>6	<b>4,0E+07</b>	1,02E-04	y	Roda	<b>2,8E+07</b>	-	-	-	-	-1,33E-04	Centro	3,1E+08

Analogamente ao apresentado para a estratégia 1, organizou-se a Tabela 4.19 e a Tabela 4.20. Nota-se que para todas as soluções houve redução de 5 cm de espessura de alguma camada: a base foi reduzida na primeira e terceira linha, a sub-base, na terceira e quarta; e o reforço, na primeira e segunda. Apenas para o cenário de tráfego Pesado e CBR do subleito maior que 6%, foi necessário aumentar o módulo da sub-base, substituindo o solo por solo estabilizado quimicamente, com módulo de 300 MPa.

Tabela 4.19 - Mecanicista 2: Sistema de Camadas – Estratégia 2 (elaborada pelo autor)

Tráfego	CBR Subleito	Revestimento		Base		Sub-base		Reforço	
		H (cm)	Módulo (Mpa)	H (cm)	Módulo (Mpa)	H (cm)	Módulo (Mpa)	H (cm)	Módulo (Mpa)
Meio Pesado	≤ 6	5	3000	<b>15</b>	<b>1500</b>	15	200	<b>15</b>	150
Pesado	≤ 6	10	3000	15	<b>1500</b>	15	200	<b>15</b>	150
Meio Pesado	>6	5	3000	<b>15</b>	<b>1500</b>	<b>15</b>	200	0	0
Pesado	>6	10	3000	15	<b>1500</b>	<b>15</b>	<b>300</b>	0	0

Todas as soluções construídas com a segunda estratégia passaram nas verificações de fadiga e afundamento das trilhas de roda, respectivamente representadas pelas colunas N fadiga e N 13 mm, como pode ser observado na Tabela 4.20. No entanto, destaca-se que, para o revestimento de 5 cm, essa substituição gerou uma rigidez excessiva, proporcionando valores de N de fadiga muito maiores do que o necessário, de modo que, no cenário com CBR ≤ 6%, surgiram deformações de compressão para o tráfego Meio Pesado, ao invés de tração. Os valores de N do critério do subleito foram destacados nesta tabela, pois foram eles que governaram o dimensionamento das soluções.

Tabela 4.20 - Análise Mecanicista 2: Resultados – Estratégia 2 (elaborada pelo autor)

Tráfego	CBR Subleito	N Projeto	Revestimento				Base Cimentada				Topo do Subleito		
			E (m/m)	Direção	Local	N Fadiga	E (m/m)	Direção	Local	N Fadiga	Ez (m/m)	Local	N 13 mm
Meio Pesado	≤ 6	<b>5,0E+06</b>	-5,80E-07	y	Roda	-	-2,12E-04	y	Centro	1,3E+09	-2,82E-04	Centro	<b>1,1E+07</b>
Pesado	≤ 6	<b>4,0E+07</b>	6,12E-05	y	Roda	1,5E+08	1,53E-04	y	Centro	1,3E+09	-2,03E-04	Centro	<b>4,6E+07</b>
Meio Pesado	>6	<b>5,0E+06</b>	6,47E-06	y	Roda	2,4E+11	2,07E-04	y	Centro	1,3E+09	-3,06E-04	Centro	<b>7,4E+06</b>
Pesado	>6	<b>4,0E+07</b>	5,67E-05	y	Roda	1,9E+08	1,15E-04	y	Centro	1,3E+09	-1,99E-04	Centro	<b>5,1E+07</b>

Considerando os resultados expostos e o custo usualmente mais elevado da BGTC frente a uma brita laterítica (proposta com módulo de 600 MPa), optou-se por redimensionar os pavimentos do tráfego Meio Pesado com a primeira estratégia e os do tráfego Pesado com a segunda. As espessuras e módulos finais de cada camada foram relacionadas na tabela Tabela 4.21 abaixo, destacando os parâmetros modificados; e o catálogo final de pavimentos novos e reconstrução foi reapresentado na Tabela 4.22 e Tabela 4.23.

Tabela 4.21 – Espessura e módulos finais redimensionados (elaborada pelo autor)

Tráfego	CBR Subleito	Revestimento		Base		Sub-base		Reforço		N Projeto
		H (cm)	Módulo (Mpa)	H (cm)	Módulo (Mpa)	H (cm)	Módulo (Mpa)	H (cm)	Módulo (Mpa)	
Muito Leve	≤ 6	0	0	20	300	15	200	15	150	1,0E+04
Leve	≤ 6	0	0	25	300	15	200	15	150	1,0E+05
Médio	≤ 6	0	0	25	300	15	200	15	150	4,0E+05
Meio Pesado	≤ 6	5	3000	20	600	20	200	20	150	5,0E+06
Pesado	≤ 6	10	3000	15	1500	15	200	20	150	4,0E+07
Muito Pesado	≤ 6	12,5	3000	15	1500	15	400	25	150	1,0E+08
Muito Leve	>6	0	0	20	300	15	200	0	0	1,0E+04
Leve	>6	0	0	25	300	15	200	0	0	1,0E+05
Médio	>6	0	0	25	300	20	200	0	0	4,0E+05
Meio Pesado	>6	5	3000	20	600	25	200	0	0	5,0E+06
Pesado	>6	10	3000	15	1500	15	300	0	0	4,0E+07
Muito Pesado	>6	12,5	3000	15	1500	15	400	0	0	1,0E+08

Tabela 4.22 – Catálogo Final de Reconstrução/Pavimentos Novos - CBR Sb ≤ 6% (elaborada pelo autor)

Tipo de Pavimento	Função da Via	Tráfego Previsto	Faixa de N	Código	Revestimento		Base		Sub-base		Reforço	
					Tipo	H (cm)	Tipo	H (cm)	Tipo	H (cm)	Tipo	H (cm)
Flexível	Via Local	Muito Leve	$N \leq 1,0E+04$	REC1	TSD	-	Solo estab. CBR ≥ 80%	20,0	Solo CBR ≥ 20%	15,0	Solo CBR = 12%	15,0
	Via Local ou Coletora	Leve	$1,0E+04 < N \leq 1,0E+05$	REC2	TSD	-	Solo estab. CBR ≥ 80%	25,0	Solo CBR ≥ 20%	15,0	Solo CBR = 12%	15,0
	Via Coletora ou Arterial	Médio	$1,0E+05 < N \leq 4,0E+05$	REC3	TSD	-	Solo estab. CBR ≥ 80%	25,0	Solo CBR ≥ 20%	15,0	Solo CBR = 12%	15,0
	Via arterial ou de trânsito rápido	Meio Pesado	$4,0E+05 < N \leq 5,0E+06$	REC4	CBUQ	5,0	Laterita CBR ≥ 80%	20,0	Solo CBR ≥ 20%	20,0	Solo CBR = 12%	20,0
		Pesado	$5,0E+06 < N \leq 4,0E+07$	REC5	CBUQ	10,0	BGTC CBR ≥ 80%	15,0	Solo CBR ≥ 20%	15,0	Solo CBR = 12%	20,0
Semi-Rígido		Muito Pesado	$4,0E+07 < N \leq 1,0E+08$	REC6	CBUQ	12,5	BGTC CBR ≥ 80%	15,0	BGS CBR ≥ 20%	15,0	Solo CBR = 12%	25,0

Tabela 4.23 - Catálogo Final de Reconstrução/Pavimentos Novos - CBR Sb > 6% (elaborada pelo autor)

Tipo de Pavimento	Função da Via	Tráfego Previsto	Faixa de N	Código	Revestimento		Base		Sub-base		Reforço	
					Tipo	H (cm)	Tipo	H (cm)	Tipo	H (cm)	Tipo	H (cm)
Flexível	Via Local	Muito Leve	$N \leq 1,0E+04$	REC1	TSD	-	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	20	Solo CBR $\geq 20\%$	15	Solo CBR = 12%	-
	Via Local ou Coletora	Leve	$1,0E+04 < N \leq 1,0E+05$	REC2	TSD	-	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	25	Solo CBR $\geq 20\%$	15	Solo CBR = 12%	-
	Via Coletora ou Arterial	Médio	$1,0E+05 < N \leq 4,0E+05$	REC3	TSD	-	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	25	Solo CBR $\geq 20\%$	20	Solo CBR = 12%	-
	Via arterial ou de trânsito rápido	Meio Pesado	$4,0E+05 < N \leq 5,0E+06$	REC4	CBUQ	5,0	Laterita CBR $\geq 80\%$	25	Solo CBR $\geq 20\%$	20	Solo CBR = 12%	-
		Pesado	$5,0E+06 < N \leq 4,0E+07$	REC5	CBUQ	10,0	BGTC CBR $\geq 80\%$	15	Solo estab. CBR $\geq 20\%$	15	Solo CBR = 12%	-
Semi-Rígido		Muito Pesado	$4,0E+07 < N \leq 1,0E+08$	REC6	CBUQ	12,5	BGTC CBR $\geq 80\%$	15	BGS CBR $\geq 20\%$	15	Solo CBR = 12%	-

## 5. CONCLUSÃO

Dentre os objetivos listados inicialmente, pode-se dizer que todos foram alcançados:

O catálogo de soluções de manutenção foi desenvolvido com sucesso para o contexto urbano do Distrito Federal, dando origem ao catálogo de soluções gerenciais apresentado na

Tabela 4.10. Ao desenvolvê-lo, foi possível verificar porque o catálogo do DNIT, utilizado como modelo, não contempla faixas de tráfego mais leves, uma vez que as soluções da

- Tabela 4.10 foram as mesmas para o tráfego “Muito Leve” e “Leve”, de modo que a primeira poderia ser suprimida;
- O catálogo de construção/reconstrução de pavimentos foi desenvolvido com soluções respaldadas pelas metodologias tradicionais, dando origem à Tabela 4.11 e Tabela 4.12;
- A análise mecanicista evidenciou o subdimensionamento de algumas das soluções de construção/reconstrução e possibilitou a adequação das mesmas por meio de modelos respaldados. Durante a análise foi possível verificar também o quão significativa é a utilização de uma base de maior qualidade para o retardamento da fadiga.

Contudo, ao longo do trabalho foi possível perceber outras possibilidades de análises que poderiam enriquecer a funcionalidade dos catálogos ou a sua validação. Ao aplicar os modelos de previsão de fadiga do revestimento e afundamento das trilhas de roda, bem como do cálculo das deformações específicas pelo ELSYM5, notou-se o quão sensível as análises são aos módulos elásticos dos materiais, de modo que seria interessante o estudo dos parâmetros mecânicos dos agregados disponíveis no DF, para melhor adequação do catálogo, uma vez que a restrição de materiais de qualidade semelhante a proposta pode proporcionar pavimentos subdimensionados. Com relação ao catálogo gerencial, seria de grande utilidade a simulação das soluções e cenários propostos em um programa de análise econômica e previsão de deterioração, a fim de proporcionar indicadores de custos e benefícios atrelados a cada solução.

## 5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante das conclusões expostas, sugere-se para trabalhos futuros:

- Levantamento de uma relação de materiais disponíveis para as obras de pavimentação no DF, atrelada aos seus custos e às suas características mecânicas, como módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, para então reavaliar as soluções de construção/reconstrução de pavimentos da Tabela 4.22 e Tabela 4.23;

Simular as soluções propostas para o catálogo gerencial da

- Tabela 4.10 em um programa de análise econômica, como o HDM-4, desenvolvido pelo Banco Mundial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGETOP. (2016). MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO URBANA. *INSTRUÇÃO TÉCNICA - 02* . ESTADO DE GOIÁS.

Bernucci, L. B., Motta, L. M., Ceratti, J. A., & Soares, J. B. (2008). *PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA*. Rio de Janeiro: PETROBRAS/ABEDA.

CNT. (2017). <http://www.cnt.org.br>. Acesso em 02 de Dezembro de 2017, disponível em Confederação Nacional do Transporte: <http://www.cnt.org.br/Boletim/boletim-estatistico-cnt>

DER/DF. (2015). *RELATÓRIO POR PORTE VEICULAR POR DIA*. Brasília.

DER/DF. (2016). SISTEMA RODOVIÁRIO DO DISTRITO FEDERAL. *SRDF-2016* . Brasília: Governo do DF.

DNER. (1981). MÉTODO DE PROJETO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS. *3ª Edição* . Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

DNER. (1979). PRO 011/79. *Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis* . Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

DNER. (1985). PRO 159/85. *Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos* . IPR.

DNER. (1994). PRO 164/94. *Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e Maysmeter)* . Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

DNER. (1994). PRO 269/94. *Projeto de restauração de pavimentos flexíveis - TECNAPAV* . Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

DNIT. (2005). MANUAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA. *Publicação IPR - 710* . Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

DNIT. (2011). MANUAL DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS. *Publicação IPR - 745* . Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

DNIT. (2006). MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. *Publicação IPR - 719* . Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

DNIT. (2006). MANUAL DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS. *Publicação IPR - 720* . Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

DNIT. (Março de 2015). Relatório Técnico - CATÁLOGO DE SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO PARA PAVIMENTOS FLEXÍVEIS. *Relatório RT - 002/2014 (Revisão 03)* . Consórcio Dynatest Engemap.

DNIT. (Agosto de 2007). TERMINOLOGIAS RODOVIÁRIAS USUALMENTE UTILIZADAS. *Versão 1.1* . DPP/DNIT/MT.

Esther, V. G. (2012). APLICAÇÃO DO MODELO DE TAVAKOLI PARA GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS EM CIDADE DE MÉDIO PORTE. *Dissertação de Mestrado* . São Paulo, SP.

Fernandes Júnior, J. L., Oda, S., & Zerbini, L. F. (2003). *Defeitos e Atividades de Manutenção e Reabilitação em Pavimentos Asfálticos*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

Fontenelle, H. B. (2011). Tese de Doutorado. *Representação do Tráfego de Veículos Rodoviários de Carga através de espectros de Carga por eixo e seu Efeito no Desempenho de Pavimentos* . São Carlos, São Paulo, Brasil: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

IP - 02/2004. (2004). CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS. *IP - 02/2004 Classificação das Vias* . São Paulo, SP: Prefeitura de São Paulo.

Laier, J. E. (2003). *Critérios de Resistência*. São Carlos: Escola De Engenharia de São Carlos - USP.

Medina, J. (1997). *Mecânica dos Pavimentos*. Rio de Janeiro: UFRJ.

Mello, L. G., Farias, M. M., Preussler, E. S., & Preussler, R. (2016). ANÁLISE DO IMPACTO DO PERÍODO DE PROJETO DE PAVIMENTOS NO CUSTO GLOBAL DE OBRAS RODOVIÁRIAS. *TRANSPORTES*, v. 24, n.4 (2016) , p. 64-74.

Paterson, W. D. (1976). International Roughness Index: Relationship to Other Measures of Roughness and Riding Quality. 58.

Pinto, S., & Preussler, E. S. (2010). PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA. 220.

SEGETH. (s.d.). *Geoportal.segeth.df.gov.br*. Acesso em 17 de Novembro de 2017, disponível em Geoportal SEGETH: <https://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/>

Turnbull, W. J., Foster, C. R., & Ahlvin, R. G. (1962). DESIGN OF FLEXIBLE PAVEMENTS CONSIDERING MIXED LOADS AND TRAFFIC VOLUME. *Intl Conf Struct Design Asphalt Pvmnts*.

## ANEXOS

### A1. VMD DE ALGUNS SEGMENTOS DO DF (elaborado pelo autor)

Identificação do Segmento	Km	Código DF	Média				
			Veículos Médios	Veículos Grandes	Sem Informação	Total C/Sem Info.	Total Médio/Grande
Ponto : PD-499-DF-085(EPTG) KM 8,1 SENTIDO DF-001(TAGUATINGA)	8,1	DF-085	50	16	600	666	66
Ponto : PD-502-DF-085 (EPTG) Km 8,9 Prox. Residência GDFSentido P. Piloto	8,9	DF-085	49	28	545	622	77
Ponto : PD-511-DF-085 (EPTG) KM1,8 SENTIDO DF-003 (P.PILOTO - VIA MARGINAL)	1,8	DF-085	24	16	261	301	39
Ponto : PD-516-DF-085(EPTG) KM 4,5 SENTIDO DF-003(EPIA) VIA MARGINAL	4,5	DF-085	16	23	743	782	39
Ponto : PD-517-DF-085(EPTG) KM 5,2 SENTIDO DF-001(TAGUATINGA) VIA MARGINAL	5,2	DF-085	9	4	587	600	13
Ponto : PD-522-DF-085(EPTG) KM 7,9 SENTIDO DF-001(TAGUATINGA) VIA MARGINAL	7,9	DF-085	10	9	37	56	19
Ponto : PD-524-DF-085 (EPTG) KM 9,0 SENTIDO DF-003(PLANO PILOTO) VIA MARGINAL	9	DF-085	10	6	495	510	15
Ponto : PD-586-DF-001(EPCT)KM63,4 SENTIDO BALÃO DO GAMA	63,4	DF-001	65	28	1.024	1.118	93
Ponto : PD-589-DF-075 (EPNB) KM 5,7 SENTIDO DF-003 (EPIA)	5,7	DF-075	109	606	1.030	1.746	715
Ponto : PD-590-DF-075 (EPNB) KM 7,4 SENTIDO R. FUNDO/SAMAMBAIA	7,4	DF-075	125	1.318	778	2.221	1.443
Ponto : PD-335-DF-003 (EPIA)KM 32,5 SENTIDO SUL	32,5	DF-003	79	129	1.613	1.821	208
Ponto : PD-336-DF-003 (EPIA) KM 33 SENTIDO NORTE	33	DF-003	101	186	2.734	3.021	286
Ponto : PD-337-DF-003 (EPIA) KM 33,7 SENTIDO NORTE	33,7	DF-003	59	129	1.029	1.218	188
Ponto : PD-372-DF-095 (EPCL) Estrutural km 0,8 Sentido Bidirecional (Pista Sul)	0,8	DF-095	63	47	1.205	1.315	110
Ponto : PD-373-DF-095 (EPCL) Estrutural km 0,8 SentidoBidirecional (Pista Norte)	0,8	DF-095	49	20	1.057	1.126	68
Ponto : PD-377-DF-095 (EPCL) ESTRUTURAL Km 04,9 SENTIDO BIDIRECIONAL ( PISTA SUL)	4,9	DF-095	398	1.191	808	2.397	1.589
Ponto : PD-381-DF-095 (EPCL) ESTRUTURAL KM 6,8 SENTIDO BIDIRECIONAL (PISTA NORTE)	6,8	DF-095	34	18	876	927	51
Ponto : PD-387-V. de Ligacao DF-001(EPCT)/DF-075(EPNB) Viaduto Riacho Fundo I		V. de	22	34	468	523	56
Ponto : PD-395-DF-001 (EPCT) KM 55,8 SENTIDO BALÃO DO GAMA	55,8	DF-001	18	12	420	450	30
Ponto : PD-405-DF-003(EPIA) KM 8,9 SENTIDO NORTE (B. TORTO)	8,9	DF-003	91	78	820	989	169

Identificação do Segmento	Km	Código DF	Média				
			Veículos Médios	Veículos Grandes	Sem Informação	Total C/Sem Info.	Total Médio/Grande
Ponto : PD-461-DF-051(EPGU) KM 0,8 SENTIDO DF-047 (ASA SUL)	0,8	DF-051	71	31	684	786	102
Ponto : PD-463-DF-051 (EPGU) VIA MARGINAL SUL KM 1,3 SENTIDO DF-047 (ASA SUL)	1,3	DF-051	15	5	309	329	20
Ponto : PD-464-DF-051 (EPGU) KM 1,3 SENTIDO DF- 003(EPIA)	1,3	DF-051	62	23	605	689	85
Ponto : PD-466-DF-051(EPGU) VIA MARGINAL NORTE KM 1,7 SENTIDO DF-003(EPIA)	1,7	DF-051	14	13	536	562	27
Ponto : PD-474-DF-079(EPVP) KM 6,5 SENTIDO DF-085(EPTG)	6,5	DF-079	8	4	86	98	12
Ponto : PD-480-DF-085 (EPTG) KM 1,3 SENTIDO TAGUATINGA VIA PRINCIPAL	1,3	DF-085	255	89	1.153	1.497	344
Ponto : PD-482-DF-085 (EPTG) KM 1,8 SENTIDO DF-003 (PLANO PILOTO)	1,8	DF-085	53	38	548	639	91
Ponto : PD-484-DF-085 (EPTG) KM 2,9 SENTIDO DF-001 (TAGUATINGA)	2,9	DF-085	41	10	858	909	50
Ponto : PD-486-DF-085 (EPTG) Km 3,8 Sent DF-003 P. PILOTO)	3,8	DF-085	50	88	1.177	1.315	138
Ponto : PD-491-DF-085(EPTG) KM 5,2 SENTIDO DF-001 (TAGUATINGA)	5,2	DF-085	53	15	917	985	68
Ponto : PD-624-DF-003(EPIA) KM 31 SENTIDO NORTE	31	DF-003	56	77	1.754	1.887	133
Ponto : PD-625-DF-025(EPDB) KM 11,3 SENTIDO DF- 003(EPIA) ALT. QL12 - ACESSO PONTE C. E	11,3	DF-025	19	9	215	242	28
Ponto : PD-590-DF-075 (EPNB) KM 7,4 SENTIDO R. FUNDO/SAMAMBAIA	7,4	DF-075	125	1.318	778	2.221	1.443
Ponto : PD-591-DF-459 KM 0,6 SENTIDO CEILÂNDIA/SAMAMBAIA	0,6	DF-459	26	12	394	432	38
Ponto : PD-623-DF-003 (EPIA) KM 27,7 SENTIDO NORTE	27,7	DF-003	163	409	1.772	2.343	571
Ponto : PD-145-DF-001 (EPCT) Km 26,3 Sentido DF-035 (Balao da Esaf)	26,3	DF-001	48	31	388	468	79
Ponto : PD-147-DF-001 (EPCT) KM 27,9 SENTIDO DF-463 (ACESSO SAO SEBASTIAO)	27,9	DF-001	31	20	528	579	51
Ponto : PD-150-DF-001 (EPCT) KM 28,6 SENTIDO DF-035 (BALAO DA ESAF)	28,6	DF-001	45	56	601	702	102
Ponto : PD-157-DF-001 (EPCT) KM 63,5 SENTIDO SAMAMBAIA	63,5	DF-001	26	24	678	728	50
Ponto : PD-165-DF-001 (EPCT) Km 68,7 Sentido Nucleo Bandeirante	68,7	DF-001	120	108	1.260	1.487	228
Ponto : PD-166-DF-001 (EPCT) KM 70 SENTIDO SAMAMBAIA	70	DF-001	68	57	740	865	125

Identificação do Segmento	Km	Código DF	Média				
			Veículos Médios	Veículos Grandes	Sem Informação	Total C/Sem Info.	Total Médio/Grande
Ponto : PD-193-DF-001 (EPCT) km 72,9 (PISTAO SUL) SENTIDO DF-075 (EPNB)	72,9	DF-001	39	95	723	857	135
Ponto : PD-197-DF-001 (EPCT) km 74,4 (PISTAO SUL) SENTIDO DF-095 (ESTRUTURAL)	74,4	DF-001	235	212	1.779	2.226	447
Ponto : PD-206-DF-001 (EPCT) Km 77,4 (PISTAO NORTE) DF-095 (ESTRUTURAL) PROX VIAD EPTG	77,4	DF-001	31	15	787	833	46
Ponto : PD-007-DF-002 (EIXAO NORTE) KM 2,4 SENTIDO PONTE DO BRAGUETO	2,4	DF-002	33	16	326	375	49
Ponto : PD-008-DF-002 (EIXAO NORTE) KM 2,4 SENTIDO RODOVIARIA	2,4	DF-002	32	13	296	341	45
Ponto : PD-011-DF-002(Eixao Norte) Km 05,8 Sentido Pte do Bragueto	5,8	DF-002	45	35	245	325	80
Ponto : PD-012-DF-002 (Eixao Norte) Km 05,8 Sentido Rodoviaria	5,8	DF-002	41	15	787	842	55
Ponto : PD-019-DF-002 (EIXAO SUL) KM 8,6 SENT. AEROPORTO	8,6	DF-002	55	175	1.074	1.304	230
Ponto : PD-020-DF-002 (EIXAO SUL) KM 8,6 SENT. RODOVIARIA	8,6	DF-002	229	265	275	769	493
Ponto : PD-023-DF-002 (EIXAO SUL) KM 10 SENTIDO RODOVIARIA	10	DF-002	53	192	3.438	3.683	246
Ponto : PD-024-DF-002 (Eixao Sul) km 10 sent. Aeroporto	10	DF-002	66	247	346	659	313
Ponto : PD-079-DF-051 (EPGU) km 03,4 SENTIDO GUARA II AO ZOOLOGICO	3,4	DF-051	18	10	505	533	28
Ponto : PD-080-DF-051 (EPGU) KM 03 SENTIDO GUARA	3	DF-051	47	38	313	398	85
Ponto : PD-089-DF-075 (EPNB) KM 0,9 SENTIDO DF-003 (EPIA)	0,9	DF-075	72	67	1.199	1.339	139
Ponto : PD-090-DF-075 (EPNB) KM 0,5 SENTIDO SAMAMBAIA	0,5	DF-075	86	40	2.039	2.165	126
Ponto : PD-094-DF-075(EPNB)Km 02 Sentido N. Bandeirante	2	DF-075	85	60	1.125	1.271	145
Ponto : PD-095-DF-075(EPNB) Km 02 Sentido Samambaia	2	DF-075	130	140	1.373	1.643	270
Ponto : PD-096-DF-075 (EPNB) Km 2,2 Sent. N. Band / EPIA (DF-003)	2,2	DF-075	147	874	446	1.466	1.021
Ponto : PD-097-DF-075 (EPNB) Km 2,2 Sent. N. Band / Riacho Fundo	2,2	DF-075	131	874	1.080	2.085	1.005
Ponto : PD-098-DF-075(EPNB),KM 3,6 SENTIDO DF-003(EPIA)	3,6	DF-075	216	1.187	12.544	13.947	1.403
Ponto : PD-099-DF-075 (EPNB) Km 3,6 Sent. N. Band. / Riacho Fundo	3,6	DF-075	110	563	2.297	2.970	673
Ponto : PD-102-DF-075 (EPNB) Km 4,7 Sent. N. Band. /Riacho Fundo	4,7	DF-075	175	945	648	1.768	1.120

Identificação do Segmento	Km	Código DF	Média				
			Veículos Médios	Veículos Grandes	Sem Informação	Total C/Sem Info.	Total Médio/Grande
Ponto : PD-104-DF-075(EPNB), KM 6,9 SENTIDO DF-003(EPIA)	6,9	DF-075	144	1.432	488	2.064	1.576
Ponto : PD-144-DF-001 (EPCT) Km 26,9 Sentido DF-027(Balao EPJK)	26,9	DF-001	38	20	378	436	58
Ponto : PD-326-DF-003 (EPIA) KM 21,0 SENTIDO SUL	21	DF-003	156	168	1.399	1.723	324
Ponto : PD-330-DF-003(EPIA) KM 25,8 SENTIDO SUL	25,8	DF-003	82	137	1.528	1.747	219
Ponto : PD-331-DF-003(EPIA) KM 25,8 SENTIDO NORTE	25,8	DF-003	54	59	1.972	2.086	114
Ponto : PD-332-DF-003 (EPIA) KM 26,9 SENTIDO NORTE	26,9	DF-003	99	170	1.491	1.760	269
Ponto : PD-333-DF-003 (EPIA) KM 29 SENTIDO SUL	29	DF-003	57	138	2.472	2.667	195
Ponto : PD-334-DF-003(EPIA) KM 29 SENTIDO NORTE	29	DF-003	56	62	1.225	1.343	117
Ponto : PD-207-DF-001 (EPCT) Km 77,4 (PISTAO NORTE) SENT DF 075 (EPNB) PROX VIAD EPTG	77,4	DF-001	59	166	1.131	1.356	225
Ponto : PD-210-DF-001 (EPCT) km 78,6 (PISTAO NORTE) SENTIDO DF-095 (ESTRUTURAL)	78,6	DF-001	47	20	928	995	67
Ponto : PD-211-DF-001 (EPCT) km 78,9 (PISTAO NORTE) SENTIDO DF-075 (EPNB)	78,9	DF-001	53	37	566	657	90
Ponto : PD-222-DF-025 (EPDB) Km 1,3 Sentido DF-003 (EPIA)	1,3	DF-025	79	41	477	597	120
Ponto : PD-223-DF-025 (EPDB) KM 04 SENTIDO BALAO DO AEROPORTO / DF-003 (EPIA)	4	DF-025	25	15	612	652	40
Ponto : PD-224-DF-025 (EPDB) KM 4,6 SENTIDO BARRAGEM DO PARANOA	4,6	DF-025	23	7	214	244	30
Ponto : PD-232-DF-025 (EPDB) km 08,8 SENTIDO PTE C. SILVA AO B. DO AEROPORTO	8,8	DF-025	8	1	116	125	9
Ponto : PD-233-DF-025(EPDB) KM 10,1, SENTIDO BARRAGEM PARANOA	10,1	DF-025	5	1	27	33	6
Ponto : PD-238-DF-025(EPDB)KM 13,7 SENTIDO BARRAGEM PARANOA	13,7	DF-025	19	15	152	187	35
Ponto : PD-239-DF-025 (EPDB) Km 15,1 SENTIDO BARRAGEM DO PARANOA	15,1	DF-025	16	4	480	499	20
Ponto : PD-240-DF-025 (EPDB) Km 15,1 SENTIDO BALAO DO AEROPORTO	15,1	DF-025	26	7	321	354	33
Ponto : PD-251-DF-025 (EPDB) km 21,9 SENTIDO PARANOA A PONTE JK	21,9	DF-025	27	12	183	221	39
Ponto : PD-254-DF-025 (EPDB) km 24,5 SENTIDO PARANOA A PONTE JK	24,5	DF-025	19	13	290	321	31
Ponto : PD-270-DF-004 (EPNA) Km 0,3 Sent. Sul/Norte (Prox. Ponte Bragueto)	0,3	DF-004	33	19	391	444	53

Identificação do Segmento	Km	Código DF	Média				
			Veículos Médios	Veículos Grandes	Sem Informação	Total C/Sem Info.	Total Médio/Grande
Ponto : PD-271-DF-004 (EPNA) KM 0,9 SENTIDO NORTE/SUL (Entroncamento com L2 Norte)	0,9	DF-004	26	59	165	250	85
Ponto : PD-276-DF-004 (EPNA) Km 7,0 Sent Sul/Norte (Prox. IATE)	7	DF-004	92	56	261	409	148
Ponto : PD-277-DF-004 (EPNA) Km 6,7 Sent Norte/Sul (Prox. IATE)	6,7	DF-004	62	12	403	477	74
Ponto : PD-283-DF-004 (EPNA) Km 9,1 SENTIDO SUL /NORTE PROX PRIM ACESSO VILA	9,1	DF-004	129	119	264	513	248
Ponto : PD-289-DF-004 (EPNA) Km 15,9 Sent. Norte/Sul (Prox. Clube ASSTJ)	15,9	DF-004	52	59	344	456	112
Ponto : PD-292-DF-004 (EPNA) Km 15,9 Sent. Sul/Norte (Prox. Clube ASSTJ)	15,9	DF-004	55	30	305	389	84
Ponto : PD-295-DF-004 (EPNA) Km 18,4 Sentido Norte/Sul (Semaforo Proximo Embaixada Iraque)	18,4	DF-004	91	57	406	553	148
Ponto : PD-298-DF-004 (EPNA) KM 19,1 SENTIDO SUL/NORTE	19,1	DF-004	213	1.126	435	1.774	1.339
Ponto : PD-302-DF-003 (EPIA) KM 3,6 SENTIDO SUL (B. TORTO)	3,6	DF-003	121	116	743	980	237
Ponto : PD-303-DF-003(EPIA) KM 4,2 SENTIDO NORTE (BALÃO COLORADO)	4,2	DF-003	98	70	1.050	1.218	168

Tráfego Previsto	VMDo (Caminhões/Ônibus)		
	Mínimo	Máximo	Média
Muito Leve	0	3	1,5
Leve	4	20	12
Médio	21	100	60,5
Meio Pesado	101	300	200,5
Pesado	301	1000	650,5
Muito Pesado	1001	2000	1500,5

## A2. SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO COM CBUQ PELO MÉTODO DO DNER - PRO 011/79 (elaborado pelo autor)

Faixa	Relação Dc/Dadm		N USACE	Dadm (0,01 mm)	DC (0,01 mm)	Hipótese	Qualidade Estrutural	Requer estudo complementar	Critério	Medidas corretivas	HR (cm)
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	1,00E+04	202,3	182,1	I	Boa	Não		Apenas Superficiais	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	1,00E+04	202,3	222,5	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	1,7
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	1,00E+04	202,3	303,5	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7,0
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	1,00E+04	202,3	404,6	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12,0
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	1,00E+04	202,3	627,1	IV	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	19,7
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	1,00E+05	134,9	121,4	I	Boa	Não		Apenas Superficiais	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	1,00E+05	134,9	148,4	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	1,7
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	1,00E+05	134,9	202,3	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7,0
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	1,00E+05	134,9	269,8	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12,0
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	1,00E+05	134,9	418,2	IV	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	19,7
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	4,00E+05	105,7	95,1	I	Boa	Não		Apenas Superficiais	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	4,00E+05	105,7	116,3	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	1,7
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	4,00E+05	105,7	158,5	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7,0
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	4,00E+05	105,7	211,4	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12,0
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	4,00E+05	105,7	327,6	IV	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	19,7
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	5,00E+06	67,8	61,0	I	Boa	Não		Apenas Superficiais	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	5,00E+06	67,8	74,5	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	1,7
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	5,00E+06	67,8	101,6	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7,0
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	5,00E+06	67,8	135,5	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12,0
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	5,00E+06	67,8	210,1	IV	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	19,7
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	4,00E+07	47,0	42,3	I	Boa	Não		Apenas Superficiais	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	4,00E+07	47,0	51,7	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	1,7
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	4,00E+07	47,0	70,5	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7,0
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	4,00E+07	47,0	94,0	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12,0
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	4,00E+07	47,0	145,7	IV	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	19,7
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	1,00E+08	40,0	36,0	I	Boa	Não		Apenas Superficiais	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	1,00E+08	40,0	44,0	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	1,7
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	1,00E+08	40,0	60,0	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7,0
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	1,00E+08	40,0	80,0	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12,0
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	1,00E+08	40,0	124,0	IV	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	19,7

**A3. SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO COM CBUQ PELO MÉTODO DO  
DNER - PRO 269/94 - SUBLEITO I (elaborado pelo autor)**

Faixa	Relação Dc/Dadm		N USACE	Dadm (0,01 mm)	DC (0,01 mm)	hef (cm)	HR (cm)
Faixa 0	Dc/Dadm ≤ 0,9	0,9	1,00E+04	248,9	224,0	0,0	0,0
Faixa 1	0,9 < Dc/Dadm ≤ 1,1	1,1	1,00E+04	248,9	273,8	0,0	0,0
Faixa 2	1,1 < Dc/Dadm ≤ 1,5	1,5	1,00E+04	248,9	373,3	0,0	0,0
Faixa 3	1,5 < Dc/Dadm ≤ 2,0	2	1,00E+04	248,9	497,8	0,0	0,0
Faixa 4	2,0 < Dc/Dadm ≤ 3,1	3,1	1,00E+04	248,9	771,5	0,0	0,0
Faixa 0	Dc/Dadm ≤ 0,9	0,9	1,00E+05	161,4	145,3	0,0	0,0
Faixa 1	0,9 < Dc/Dadm ≤ 1,1	1,1	1,00E+05	161,4	177,6	0,0	0,0
Faixa 2	1,1 < Dc/Dadm ≤ 1,5	1,5	1,00E+05	161,4	242,2	0,0	0,0
Faixa 3	1,5 < Dc/Dadm ≤ 2,0	2	1,00E+05	161,4	322,9	0,0	0,0
Faixa 4	2,0 < Dc/Dadm ≤ 3,1	3,1	1,00E+05	161,4	500,5	0,0	0,0
Faixa 0	Dc/Dadm ≤ 0,9	0,9	4,00E+05	124,4	112,0	1,5	0,3
Faixa 1	0,9 < Dc/Dadm ≤ 1,1	1,1	4,00E+05	124,4	136,8	0,2	2,1
Faixa 2	1,1 < Dc/Dadm ≤ 1,5	1,5	4,00E+05	124,4	186,6	0,0	2,3
Faixa 3	1,5 < Dc/Dadm ≤ 2,0	2	4,00E+05	124,4	248,8	0,0	2,3
Faixa 4	2,0 < Dc/Dadm ≤ 3,1	3,1	4,00E+05	124,4	385,6	0,0	2,3
Faixa 0	Dc/Dadm ≤ 0,9	0,9	5,00E+06	77,4	69,6	5,9	0,1
Faixa 1	0,9 < Dc/Dadm ≤ 1,1	1,1	5,00E+06	77,4	85,1	3,8	3,0
Faixa 2	1,1 < Dc/Dadm ≤ 1,5	1,5	5,00E+06	77,4	116,1	1,2	6,4
Faixa 3	1,5 < Dc/Dadm ≤ 2,0	2	5,00E+06	77,4	154,7	0,0	8,1
Faixa 4	2,0 < Dc/Dadm ≤ 3,1	3,1	5,00E+06	77,4	239,9	0,0	8,1
Faixa 0	Dc/Dadm ≤ 0,9	0,9	4,00E+07	52,3	47,1	11,4	0,0
Faixa 1	0,9 < Dc/Dadm ≤ 1,1	1,1	4,00E+07	52,3	57,6	8,3	2,6
Faixa 2	1,1 < Dc/Dadm ≤ 1,5	1,5	4,00E+07	52,3	78,5	4,6	7,7
Faixa 3	1,5 < Dc/Dadm ≤ 2,0	2	4,00E+07	52,3	104,7	2,0	11,2
Faixa 4	2,0 < Dc/Dadm ≤ 3,1	3,1	4,00E+07	52,3	162,2	0,0	13,9
Faixa 0	Dc/Dadm ≤ 0,9	0,9	1,00E+08	44,1	39,6	14,6	0,0
Faixa 1	0,9 < Dc/Dadm ≤ 1,1	1,1	1,00E+08	44,1	48,5	10,9	2,0
Faixa 2	1,1 < Dc/Dadm ≤ 1,5	1,5	1,00E+08	44,1	66,1	6,5	8,1
Faixa 3	1,5 < Dc/Dadm ≤ 2,0	2	1,00E+08	44,1	88,1	3,4	12,2
Faixa 4	2,0 < Dc/Dadm ≤ 3,1	3,1	1,00E+08	44,1	136,6	0,2	16,6

**A4. SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO COM CBUQ PELO MÉTODO DO  
DNER - PRO 269/94 - SUBLEITO II (elaborado pelo autor)**

Faixa	Relação Dc/Dadm		N USACE	Dadm (0,01 mm)	DC (0,01 mm)	hef (cm)	HR (cm)
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	1,00E+04	248,9	224,0	0,0	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	1,00E+04	248,9	273,8	0,0	0,0
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	1,00E+04	248,9	373,3	0,0	0,0
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	1,00E+04	248,9	497,8	0,0	0,0
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	1,00E+04	248,9	771,5	0,0	0,0
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	1,00E+05	161,4	145,3	0,8	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	1,00E+05	161,4	177,6	0,0	0,7
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	1,00E+05	161,4	242,2	0,0	0,7
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	1,00E+05	161,4	322,9	0,0	0,7
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	1,00E+05	161,4	500,5	0,0	0,7
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	4,00E+05	124,4	112,0	2,5	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	4,00E+05	124,4	136,8	1,1	1,8
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	4,00E+05	124,4	186,6	0,0	3,4
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	4,00E+05	124,4	248,8	0,0	3,4
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	4,00E+05	124,4	385,6	0,0	3,4
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	5,00E+06	77,4	69,6	6,8	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	5,00E+06	77,4	85,1	4,7	2,7
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	5,00E+06	77,4	116,1	2,2	6,1
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	5,00E+06	77,4	154,7	0,5	8,5
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	5,00E+06	77,4	239,9	0,0	9,1
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	4,00E+07	52,3	47,1	12,4	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	4,00E+07	52,3	57,6	9,3	2,3
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	4,00E+07	52,3	78,5	5,5	7,4
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	4,00E+07	52,3	104,7	3,0	10,9
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	4,00E+07	52,3	162,2	0,2	14,6
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	1,00E+08	44,1	39,6	15,6	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	1,00E+08	44,1	48,5	11,9	1,7
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	1,00E+08	44,1	66,1	7,5	7,8
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	1,00E+08	44,1	88,1	4,4	11,9
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	1,00E+08	44,1	136,6	1,2	16,3

**A5. SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO COM CBUQ PELO MÉTODO DO  
DNER - PRO 269/94 - SUBLEITO III (elaborado pelo autor)**

Faixa	Relação Dc/Dadm		N USACE	Dadm (0,01 mm)	DC (0,01 mm)	hef (cm)	HR (cm)
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	1,00E+04	248,9	224,0	2,0	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	1,00E+04	248,9	273,8	1,3	0,0
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	1,00E+04	248,9	373,3	0,5	0,0
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	1,00E+04	248,9	497,8	0,0	0,0
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	1,00E+04	248,9	771,5	0,0	0,0
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	1,00E+05	161,4	145,3	3,9	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	1,00E+05	161,4	177,6	2,9	0,0
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	1,00E+05	161,4	242,2	1,7	1,3
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	1,00E+05	161,4	322,9	0,9	2,4
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	1,00E+05	161,4	500,5	0,0	3,6
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	4,00E+05	124,4	112,0	5,6	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	4,00E+05	124,4	136,8	4,3	0,4
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	4,00E+05	124,4	186,6	2,7	2,6
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	4,00E+05	124,4	248,8	1,6	4,0
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	4,00E+05	124,4	385,6	0,5	5,6
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	5,00E+06	77,4	69,6	10,0	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	5,00E+06	77,4	85,1	7,9	1,3
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	5,00E+06	77,4	116,1	5,3	4,7
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	5,00E+06	77,4	154,7	3,6	7,1
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	5,00E+06	77,4	239,9	1,7	9,6
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	4,00E+07	52,3	47,1	15,5	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	4,00E+07	52,3	57,6	12,4	1,0
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	4,00E+07	52,3	78,5	8,7	6,0
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	4,00E+07	52,3	104,7	6,1	9,5
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	4,00E+07	52,3	162,2	3,3	13,3
Faixa 0	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	1,00E+08	44,1	39,6	18,7	0,0
Faixa 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	1,00E+08	44,1	48,5	15,0	0,4
Faixa 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	1,00E+08	44,1	66,1	10,6	6,4
Faixa 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	1,00E+08	44,1	88,1	7,5	10,5
Faixa 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	1,00E+08	44,1	136,6	4,3	14,9

**A6. SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO COM CBUQ PELO MÉTODO DO  
DNER - PRO 159/85 - DEFLEXÃO (elaborado pelo autor)**

Faixa	Relação Dc/Dadm		N USACE	Dadm (0,01 mm)	DC (0,01 mm)	Medidas corretivas	HR (cm)
<b>Faixa 0</b>	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	1,00E+04	248,9	224,0	Apenas Superficiais	
<b>Faixa 1</b>	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	1,00E+04	248,9	273,8	Reforço	0,0
<b>Faixa 2</b>	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	1,00E+04	248,9	373,3	Reforço	1,0
<b>Faixa 3</b>	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	1,00E+04	248,9	497,8	Reforço	3,2
<b>Faixa 4</b>	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	1,00E+04	248,9	771,5	Reforço ou Reconstrução	8,9
<b>Faixa 0</b>	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	1,00E+05	161,4	145,3	Apenas Superficiais	
<b>Faixa 1</b>	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	1,00E+05	161,4	177,6	Reforço	0,0
<b>Faixa 2</b>	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	1,00E+05	161,4	242,2	Reforço	1,2
<b>Faixa 3</b>	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	1,00E+05	161,4	322,9	Reforço	3,8
<b>Faixa 4</b>	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	1,00E+05	161,4	500,5	Reforço ou Reconstrução	10,5
<b>Faixa 0</b>	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	4,00E+05	124,4	112,0	Apenas Superficiais	
<b>Faixa 1</b>	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	4,00E+05	124,4	136,8	Reforço	0,0
<b>Faixa 2</b>	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	4,00E+05	124,4	186,6	Reforço	1,3
<b>Faixa 3</b>	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	4,00E+05	124,4	248,8	Reforço	4,3
<b>Faixa 4</b>	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	4,00E+05	124,4	385,6	Reforço ou Reconstrução	11,6
<b>Faixa 0</b>	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	5,00E+06	77,4	69,6	Apenas Superficiais	
<b>Faixa 1</b>	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	5,00E+06	77,4	85,1	Reforço	0,1
<b>Faixa 2</b>	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	5,00E+06	77,4	116,1	Reforço	1,7
<b>Faixa 3</b>	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	5,00E+06	77,4	154,7	Reforço	5,3
<b>Faixa 4</b>	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	5,00E+06	77,4	239,9	Reforço ou Reconstrução	14,2
<b>Faixa 0</b>	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	4,00E+07	52,3	47,1	Apenas Superficiais	
<b>Faixa 1</b>	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	4,00E+07	52,3	57,6	Reforço	0,1
<b>Faixa 2</b>	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	4,00E+07	52,3	78,5	Reforço	2,1
<b>Faixa 3</b>	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	4,00E+07	52,3	104,7	Reforço	6,5
<b>Faixa 4</b>	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	4,00E+07	52,3	162,2	Reforço ou Reconstrução	16,9
<b>Faixa 0</b>	$Dc/Dadm \leq 0,9$	0,9	1,00E+08	44,1	39,6	Apenas Superficiais	
<b>Faixa 1</b>	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	1,1	1,00E+08	44,1	48,5	Reforço	0,1
<b>Faixa 2</b>	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	1,5	1,00E+08	44,1	66,1	Reforço	2,3
<b>Faixa 3</b>	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	2,0	1,00E+08	44,1	88,1	Reforço	7,1
<b>Faixa 4</b>	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	3,1	1,00E+08	44,1	136,6	Reforço ou Reconstrução	18,4

## A7. SOLUÇÕES PARA PARÂMETROS ISOLADOS (elaborado pelo autor)

Parâmetros	Faixa	Observação	Soluções para faixas de Tráfego					
			1 - Muito Leve VMDc = Até 03	2 - Leve VMDc = De 04 a 20	3 - Médio VMDc = De 21 a 100	4 - Meio Pesado VMDc = De 101 a 300	5 - Pesado VMDc = De 301 a 1000	6 - Muito Pesado VMDc = De 1001 a 2000
Dc/Dadm 1	$0,9 < Dc/Dadm \leq 1,1$	Sem problemas estruturais		TSS	TSD	MI	MI	MI
Dc/Dadm 2	$1,1 < Dc/Dadm \leq 1,5$	Deficiências estrutural leve	TSS ou HRx	TSS ou HRx	TSD ou HRx	Mi ou HRx	HRx	HRpol x
Dc/Dadm 3	$1,5 < Dc/Dadm \leq 2,0$	Com problemas estruturais	TSS ou HRx	TSS ou HRx	Mi ou HRx	HRx	HRx	HRpol x
Dc/Dadm 4	$2,0 < Dc/Dadm \leq 3,1$	Grandes problemas estruturais	HRx	HRx	HRx	HRx	HRx	HRpol x
IRI 1	$IRI \leq 2,5$ m/km	Sem problemas funcionais	-	-	-	-	-	-
IRI 2	$2,5 < IRI \leq 4,0$ m/km	Certas deficiências funcionais	REP1/4	REP1/4	REP1/4 ou REP3/6	REP1/4	HR1/4	HRpol 1/4
IRI 3	$4,0 < IRI$ m/km	Grandes problemas funcionais	REP2 + HR3/6	REP2 + HR3/6	REP2 + HR3/6	REP2 + HR3/6	REP2 + HR3/6	REP2 + HRpol 3/6
TR 1	$TR \leq 10\%$	Sem problemas funcionais	Selagem	Selagem	Selagem	MI	MI	MI
TR 2	$TR > 10\%$	Podem haver problemas funcionais	TSS ou FSc	TSS ou FSc	FSp ou FSc	FSp ou FSc	FSp ou FSc	FSp ou FSc
Ad. Sup	-	Solução complementar	TSS ou TSD	TSS ou TSD	TSD	TSD	TSD	TSDpol
Bloq. TR	-	Solução complementar	TSS	TSS	TSS	TSD	TSDpol	TSDpol

## A8. Catálogo de Soluções Genéricas de Manutenção (elaborado pelo autor)

Função da Via		LOCAL		LOCAL OU COLETORA		COLETORA OU ARTERIAL		ARTERIAL OU DE TRÂNSITO RÁPIDO									
Tráfego		MUITO LEVE (VMDc ≤ 3)		LEVE (3 < VMDc ≤ 20)		MÉDIO (20 < VMDc ≤ 100)		MEIO PESADO (100 < VMDc ≤ 300)		PESADO (300 < VMDc ≤ 1000)				MUITO PESADO (1001 < VMDc ≤ 2000)			
Funcional	Estrutural	De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,1	1,1 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 3,1	De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,1	1,1 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 3,1	De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,1	1,1 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 3,1	De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,1	1,1 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 3,1	De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,1	1,1 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,5	1,5 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 2,0	2,0 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 3,1	De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,1	1,1 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 1,5	1,5 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 2,0	2,0 < De/Dad <sub>m</sub> ≤ 3,1
	IRI ≤ 2,5 m/km QI ≤ 32,5 cont/km	TR ≤ 10%	Selagem	TSS ou HRx	Selagem ou TSS	TSS ou HRx	Selagem ou TSD	TSD ou HRx	MI	Mi ou HRx	MI	HRx	HRx	HRx	MI	HRpol x	HRpol x
TR > 10%		TSS	TSS ou HRx	TSS	TSS ou HRx	TSD	TSD ou HRx	FSp + MI	FSp + (Mi ou HRx)	FSp + MI	FSp + HRx	FSp + HRx	FSp + HRx	FSp + MI	FSp + HRpol x	FSp + HRpol x	FSp + HRpol x
2,5 < IRI ≤ 4,0 m/km 32,5 < QI ≤ 52,0 cont/km	TR ≤ 10%	REP1/4 + TSS	HRx	REP1/4 + TSS	HRx	REP1/4 + TSD	HRx	REP1/4 + TSD	HRx	HR1/4	HRx	HRx	HRx	HRpol 1/4	HRpol x	HRpol x	HRpol x
	TR > 10%	REP1/4 + TSD	TSS + HRx	REP1/4 + TSD	TSS + HRx	REP1/4 + TSD	FSp + TSS + HRx	FSp + REP1/4 + TSD	FSp + TSD + HRx	FSp + TSD + HR1/4	FSp + TSD + HRx	FSp + TSD + HRx	REC 5	FSp + TSDpol + HRpol 1/4	FSp + TSDpol + HRpol x	FSp + TSDpol + HRpol x	REC 6
IRI > 4,0 m/km QI > 52,0 cont/km	TR ≤ 10%	REP2 + HR3/6	REP2 + HRx	REP2 + HR3/6	REP2 + HRx	REP2 + HR3/6	REP2 + HRx	REP2 + HR3/6	REP2 + HRx	REP2 + HR3/6	REP2 + HRx	REP2 + HRx	REC 5	REP2 + HRpol 3/6	REP2 + HRpol x	REC 6	REC 6
	TR > 10%	FSc + TSS + HR3/6	FSc + TSS + HRx	FSc + TSS + HR3/6	FSc + TSS + HRx	FSc + TSS + HR3/6	FSc + TSS + HRx	FSc + TSD + HR3/6	FSc + TSD + HRx	FSc + TSDpol + HR3/6	FSc + TSDpol + HRx	REC 5	REC 5	FSc + TSDpol + HRpol 3/6	REC 6	REC 6	REC 6

## A9. FAIXAS DE HR (CM) - SUBLEITO TIPO I (elaborado pelo autor)

Função da Via		LOCAL		LOCAL OU COLETORA		COLETORA OU ARTERIAL		ARTERIAL OU DE TRÂNSITO RÁPIDO																	
Tráfego		MUITO LEVE (VMDc ≤ 3)		LEVE (3 < VMDc ≤ 20)		MÉDIO (20 < VMDc ≤ 100)		MEIO PESADO (100 < VMDc ≤ 300)		PESADO (300 < VMDc ≤ 1000)				MUITO PESADO (1001 < VMDc ≤ 2000)											
Funcional	Estrutural	De/Dad ≤ 1,1		1,1 < De/Dad ≤ 3,1		De/Dad ≤ 1,1		1,1 < De/Dad ≤ 3,1		De/Dad ≤ 1,1		1,1 < De/Dad ≤ 1,5		1,5 < De/Dad ≤ 2,0		2,0 < De/Dad ≤ 3,1		De/Dad ≤ 1,1		1,1 < De/Dad ≤ 1,5		1,5 < De/Dad ≤ 2,0		2,0 < De/Dad ≤ 3,1	
		IRI ≤ 2,5 m/km	TR ≤ 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 10,5 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0,3 à 2,1 159: 0 à 11,6 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0,1 à 3 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 3 à 8,1 159: 0,1 à 14,2 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,6 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 7 269: 2,6 à 7,7 159: 0,1 à 2,1 IRI: 0 à 0,5	011: 7 à 12 269: 7,7 à 11,2 159: 2,1 à 6,5 IRI: 0 à 0,5	011: 12 à 19,7 269: 11,2 à 13,9 159: 6,5 à 16,9 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 7 269: 2 à 8,1 159: 0,1 à 2,3 IRI: 0 à 0,5	011: 7 à 12 269: 8,1 à 12,2 159: 2,3 à 7,1 IRI: 0 à 0,5	011: 12 à 19,7 269: 12,2 à 16,6 159: 7,1 à 18,4 IRI: 0 à 0,5						
IRI > 2,5 m/km	TR > 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 10,5 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0,3 à 2,1 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 2,1 à 2,3 159: 0 à 11,6 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0,1 à 3 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 3 à 8,1 159: 0,1 à 14,2 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,6 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 7 269: 2,6 à 7,7 159: 0,1 à 2,1 IRI: 0 à 0,5	011: 7 à 12 269: 7,7 à 11,2 159: 2,1 à 6,5 IRI: 0 à 0,5	011: 12 à 19,7 269: 11,2 à 13,9 159: 6,5 à 16,9 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 7 269: 2 à 8,1 159: 0,1 à 2,3 IRI: 0 à 0,5	011: 7 à 12 269: 8,1 à 12,2 159: 2,3 à 7,1 IRI: 0 à 0,5	011: 12 à 19,7 269: 12,2 à 16,6 159: 7,1 à 18,4 IRI: 0 à 0,5								
2,5 < IRI ≤ 4,0 m/km	TR ≤ 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 10,5 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0,3 à 2,1 159: 0 à 0 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 2,1 à 2,3 159: 0 à 11,6 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0,1 à 3 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 3 à 8,1 159: 0,1 à 14,2 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,6 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 7 269: 2,6 à 7,7 159: 0,1 à 2,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 7 à 12 269: 7,7 à 11,2 159: 2,1 à 6,5 IRI: 0,9 à 3,7	011: 12 à 19,7 269: 11,2 à 13,9 159: 6,5 à 16,9 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 7 269: 2 à 8,1 159: 0,1 à 2,3 IRI: 0,9 à 3,7	011: 7 à 12 269: 8,1 à 12,2 159: 2,3 à 7,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 12 à 19,7 269: 12,2 à 16,6 159: 7,1 à 18,4 IRI: 0,9 à 3,7								
IRI > 4,0 m/km	TR > 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 10,5 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0,3 à 2,1 159: 0 à 0 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 2,1 à 2,3 159: 0 à 11,6 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0,1 à 3 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 3 à 8,1 159: 0,1 à 14,2 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,6 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 7 269: 2,6 à 7,7 159: 0,1 à 2,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 7 à 12 269: 7,7 à 11,2 159: 2,1 à 6,5 IRI: 4,7 à 7,9	011: 12 à 19,7 269: 11,2 à 13,9 159: 6,5 à 16,9 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 7 269: 2 à 8,1 159: 0,1 à 2,3 IRI: 4,7 à 7,9	011: 7 à 12 269: 8,1 à 12,2 159: 2,3 à 7,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 12 à 19,7 269: 12,2 à 16,6 159: 7,1 à 18,4 IRI: 4,7 à 7,9								

## A10. FAIXAS DE HR (CM) - SUBLEITO TIPO II (elaborado pelo autor)

Função da Via		LOCAL		LOCAL OU COLETORA		COLETORA OU ARTERIAL		ARTERIAL OU DE TRÂNSITO RÁPIDO									
Tráfego		MUITO LEVE (VMDc ≤ 3)		LEVE (3 < VMDc ≤ 20)		MÉDIO (20 < VMDc ≤ 100)		MEIO PESADO (100 < VMDc ≤ 300)		PESADO (300 < VMDc ≤ 1000)				MUITO PESADO (1001 < VMDc ≤ 2000)			
Funcional	Estrutural	Dc/Dadim ≤ 1,1		1,1 < Dc/Dadim ≤ 3,1		Dc/Dadim ≤ 1,1		1,1 < Dc/Dadim ≤ 3,1		Dc/Dadim ≤ 1,1		1,1 < Dc/Dadim ≤ 1,5		1,5 < Dc/Dadim ≤ 2,0		2,0 < Dc/Dadim ≤ 3,1	
		Dc/Dadim ≤ 1,1	1,1 < Dc/Dadim ≤ 3,1	Dc/Dadim ≤ 1,1	1,1 < Dc/Dadim ≤ 3,1	Dc/Dadim ≤ 1,1	1,1 < Dc/Dadim ≤ 3,1	Dc/Dadim ≤ 1,1	1,1 < Dc/Dadim ≤ 3,1	Dc/Dadim ≤ 1,1	1,1 < Dc/Dadim ≤ 1,5	1,5 < Dc/Dadim ≤ 2,0	2,0 < Dc/Dadim ≤ 3,1	Dc/Dadim ≤ 1,1	1,1 < Dc/Dadim ≤ 1,5	1,5 < Dc/Dadim ≤ 2,0	2,0 < Dc/Dadim ≤ 3,1
IRI ≤ 2,5 m/km	TR ≤ 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,7 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0,7 à 0,7 159: 0 à 10,5 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,8 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 1,8 à 3,4 159: 0 à 11,6 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,7 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 2,7 à 9,1 159: 0,1 à 14,2 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,3 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 7 269: 2,3 à 7,4 159: 0,1 à 2,1 IRI: 0 à 0,5	011: 7 à 12 269: 7,4 à 10,9 159: 2,1 à 6,5 IRI: 0 à 0,5	011: 12 à 19,7 269: 10,9 à 14,6 159: 6,5 à 16,9 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,7 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 7 269: 1,7 à 7,8 159: 0,1 à 2,3 IRI: 0 à 0,5	011: 7 à 12 269: 7,8 à 11,9 159: 2,3 à 7,1 IRI: 0 à 0,5	011: 12 à 19,7 269: 11,9 à 16,3 159: 7,1 à 18,4 IRI: 0 à 0,5
	TR > 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,7 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0,7 à 0,7 159: 0 à 10,5 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,8 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 1,8 à 3,4 159: 0 à 11,6 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,7 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 2,7 à 9,1 159: 0,1 à 14,2 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,3 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 7 269: 2,3 à 7,4 159: 0,1 à 2,1 IRI: 0 à 0,5	011: 7 à 12 269: 7,4 à 10,9 159: 2,1 à 6,5 IRI: 0 à 0,5	011: 12 à 19,7 269: 10,9 à 14,6 159: 6,5 à 16,9 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,7 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 7 269: 1,7 à 7,8 159: 0,1 à 2,3 IRI: 0 à 0,5	011: 7 à 12 269: 7,8 à 11,9 159: 2,3 à 7,1 IRI: 0 à 0,5	011: 12 à 19,7 269: 11,9 à 16,3 159: 7,1 à 18,4 IRI: 0 à 0,5
2,5 < IRI ≤ 4,0 m/km	TR ≤ 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,7 159: 0 à 0 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 0,7 à 0,7 159: 0 à 10,5 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,8 159: 0 à 0 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 1,8 à 3,4 159: 0 à 11,6 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,7 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 2,7 à 9,1 159: 0,1 à 14,2 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,3 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 7 269: 2,3 à 7,4 159: 0,1 à 2,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 7 à 12 269: 7,4 à 10,9 159: 2,1 à 6,5 IRI: 0,9 à 3,7	011: 12 à 19,7 269: 10,9 à 14,6 159: 6,5 à 16,9 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,7 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 7 269: 1,7 à 7,8 159: 0,1 à 2,3 IRI: 0,9 à 3,7	011: 7 à 12 269: 7,8 à 11,9 159: 2,3 à 7,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 12 à 19,7 269: 11,9 à 16,3 159: 7,1 à 18,4 IRI: 0,9 à 3,7
	TR > 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,7 159: 0 à 0 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 0,7 à 0,7 159: 0 à 10,5 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,8 159: 0 à 0 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 1,8 à 3,4 159: 0 à 11,6 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,7 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 2,7 à 9,1 159: 0,1 à 14,2 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,3 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 7 269: 2,3 à 7,4 159: 0,1 à 2,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 7 à 12 269: 7,4 à 10,9 159: 2,1 à 6,5 IRI: 0,9 à 3,7	011: 12 à 19,7 269: 10,9 à 14,6 159: 6,5 à 16,9 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,7 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 7 269: 1,7 à 7,8 159: 0,1 à 2,3 IRI: 0,9 à 3,7	011: 7 à 12 269: 7,8 à 11,9 159: 2,3 à 7,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 12 à 19,7 269: 11,9 à 16,3 159: 7,1 à 18,4 IRI: 0,9 à 3,7
IRI > 4,0 m/km	TR ≤ 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,7 159: 0 à 0 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 0,7 à 0,7 159: 0 à 10,5 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,8 159: 0 à 0 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 1,8 à 3,4 159: 0 à 11,6 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,7 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 2,7 à 9,1 159: 0,1 à 14,2 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,3 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 7 269: 2,3 à 7,4 159: 0,1 à 2,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 7 à 12 269: 7,4 à 10,9 159: 2,1 à 6,5 IRI: 4,7 à 7,9	011: 12 à 19,7 269: 10,9 à 14,6 159: 6,5 à 16,9 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,7 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 7 269: 1,7 à 7,8 159: 0,1 à 2,3 IRI: 4,7 à 7,9	011: 7 à 12 269: 7,8 à 11,9 159: 2,3 à 7,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 12 à 19,7 269: 11,9 à 16,3 159: 7,1 à 18,4 IRI: 4,7 à 7,9
	TR > 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,7 159: 0 à 0 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 0,7 à 0,7 159: 0 à 10,5 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,8 159: 0 à 0 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 1,8 à 3,4 159: 0 à 11,6 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,7 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 2,7 à 9,1 159: 0,1 à 14,2 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 2,3 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 7 269: 2,3 à 7,4 159: 0,1 à 2,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 7 à 12 269: 7,4 à 10,9 159: 2,1 à 6,5 IRI: 4,7 à 7,9	011: 12 à 19,7 269: 10,9 à 14,6 159: 6,5 à 16,9 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,7 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 7 269: 1,7 à 7,8 159: 0,1 à 2,3 IRI: 4,7 à 7,9	011: 7 à 12 269: 7,8 à 11,9 159: 2,3 à 7,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 12 à 19,7 269: 11,9 à 16,3 159: 7,1 à 18,4 IRI: 4,7 à 7,9

## A11. FAIXAS DE HR (CM) - SUBLEITO TIPO III (elaborado pelo autor)

Função da Via		LOCAL		LOCAL OU COLETORA		COLETORA OU ARTERIAL		ARTERIAL OU DE TRÂNSITO RÁPIDO																	
Tráfego		MUITO LEVE (VMDc ≤ 3)		LEVE (3 < VMDc ≤ 20)		MÉDIO (20 < VMDc ≤ 100)		MEIO PESADO (100 < VMDc ≤ 300)		PESADO (300 < VMDc ≤ 1000)				MUITO PESADO (1001 < VMDc ≤ 2000)											
Funcional	Estrutural	De/Dadm ≤ 1,1		1,1 < De/Dadm ≤ 3,1		De/Dadm ≤ 1,1		1,1 < De/Dadm ≤ 3,1		De/Dadm ≤ 1,1		1,1 < De/Dadm ≤ 1,5		1,5 < De/Dadm ≤ 2,0		2,0 < De/Dadm ≤ 3,1		De/Dadm ≤ 1,1		1,1 < De/Dadm ≤ 1,5		1,5 < De/Dadm ≤ 2,0		2,0 < De/Dadm ≤ 3,1	
		De/Dadm ≤ 1,1	1,1 < De/Dadm ≤ 3,1	De/Dadm ≤ 1,1	1,1 < De/Dadm ≤ 3,1	De/Dadm ≤ 1,1	1,1 < De/Dadm ≤ 3,1	De/Dadm ≤ 1,1	1,1 < De/Dadm ≤ 3,1	De/Dadm ≤ 1,1	1,1 < De/Dadm ≤ 1,5	1,5 < De/Dadm ≤ 2,0	2,0 < De/Dadm ≤ 3,1	De/Dadm ≤ 1,1	1,1 < De/Dadm ≤ 1,5	1,5 < De/Dadm ≤ 2,0	2,0 < De/Dadm ≤ 3,1	De/Dadm ≤ 1,1	1,1 < De/Dadm ≤ 1,5	1,5 < De/Dadm ≤ 2,0	2,0 < De/Dadm ≤ 3,1				
IRI ≤ 2,5 m/km	QI ≤ 32,5 cont/km	TR ≤ 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 3,6 159: 0 à 10,5 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,4 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0,4 à 5,6 159: 0 à 11,6 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,3 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 1,3 à 9,6 159: 0,1 à 14,2 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 7 269: 1 à 6 159: 0,1 à 2,1 IRI: 0 à 0,5	011: 7 à 12 269: 6 à 9,5 159: 2,1 à 6,5 IRI: 0 à 0,5	011: 12 à 19,7 269: 9,5 à 13,3 159: 6,5 à 16,9 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,4 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 7 269: 0,4 à 6,4 159: 0,1 à 2,3 IRI: 0 à 0,5	011: 7 à 12 269: 6,4 à 10,5 159: 2,3 à 7,1 IRI: 0 à 0,5	011: 12 à 19,7 269: 10,5 à 14,9 159: 7,1 à 18,4 IRI: 0 à 0,5							
		TR > 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 3,6 159: 0 à 10,5 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,4 159: 0 à 0 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 0,4 à 5,6 159: 0 à 11,6 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,3 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 19,7 269: 1,3 à 9,6 159: 0,1 à 14,2 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 7 269: 1 à 6 159: 0,1 à 2,1 IRI: 0 à 0,5	011: 7 à 12 269: 6 à 9,5 159: 2,1 à 6,5 IRI: 0 à 0,5	011: 12 à 19,7 269: 9,5 à 13,3 159: 6,5 à 16,9 IRI: 0 à 0,5	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,4 159: 0 à 0,1 IRI: 0 à 0,5	011: 1,7 à 7 269: 0,4 à 6,4 159: 0,1 à 2,3 IRI: 0 à 0,5	011: 7 à 12 269: 6,4 à 10,5 159: 2,3 à 7,1 IRI: 0 à 0,5	011: 12 à 19,7 269: 10,5 à 14,9 159: 7,1 à 18,4 IRI: 0 à 0,5							
2,5 < IRI ≤ 4,0 m/km	32,5 < QI ≤ 52,0 cont/km	TR ≤ 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 3,6 159: 0 à 10,5 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,4 159: 0 à 11,6 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 0,4 à 5,6 159: 0 à 11,6 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,3 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 1,3 à 9,6 159: 0,1 à 14,2 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 7 269: 1 à 6 159: 0,1 à 2,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 7 à 12 269: 6 à 9,5 159: 2,1 à 6,5 IRI: 0,9 à 3,7	011: 12 à 19,7 269: 9,5 à 13,3 159: 6,5 à 16,9 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,4 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 7 269: 0,4 à 6,4 159: 0,1 à 2,3 IRI: 0,9 à 3,7	011: 7 à 12 269: 6,4 à 10,5 159: 2,3 à 7,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 12 à 19,7 269: 10,5 à 14,9 159: 7,1 à 18,4 IRI: 0,9 à 3,7							
		TR > 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 3,6 159: 0 à 10,5 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,4 159: 0 à 11,6 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 0,4 à 5,6 159: 0 à 11,6 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,3 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 19,7 269: 1,3 à 9,6 159: 0,1 à 14,2 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 7 269: 1 à 6 159: 0,1 à 2,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 7 à 12 269: 6 à 9,5 159: 2,1 à 6,5 IRI: 0,9 à 3,7	011: 12 à 19,7 269: 9,5 à 13,3 159: 6,5 à 16,9 IRI: 0,9 à 3,7	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,4 159: 0 à 0,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 1,7 à 7 269: 0,4 à 6,4 159: 0,1 à 2,3 IRI: 0,9 à 3,7	011: 7 à 12 269: 6,4 à 10,5 159: 2,3 à 7,1 IRI: 0,9 à 3,7	011: 12 à 19,7 269: 10,5 à 14,9 159: 7,1 à 18,4 IRI: 0,9 à 3,7							
IRI > 4,0 m/km	QI > 52,0 cont/km	TR ≤ 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 3,6 159: 0 à 10,5 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,4 159: 0 à 11,6 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 0,4 à 5,6 159: 0 à 11,6 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,3 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 1,3 à 9,6 159: 0,1 à 14,2 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 7 269: 1 à 6 159: 0,1 à 2,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 7 à 12 269: 6 à 9,5 159: 2,1 à 6,5 IRI: 4,7 à 7,9	011: 12 à 19,7 269: 9,5 à 13,3 159: 6,5 à 16,9 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,4 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 7 269: 0,4 à 6,4 159: 0,1 à 2,3 IRI: 4,7 à 7,9	011: 7 à 12 269: 6,4 à 10,5 159: 2,3 à 7,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 12 à 19,7 269: 10,5 à 14,9 159: 7,1 à 18,4 IRI: 4,7 à 7,9							
		TR > 10%	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 0 159: 0 à 8,9 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0 159: 0 à 0 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 0 à 3,6 159: 0 à 10,5 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,4 159: 0 à 11,6 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 0,4 à 5,6 159: 0 à 11,6 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1,3 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 19,7 269: 1,3 à 9,6 159: 0,1 à 14,2 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 1 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 7 269: 1 à 6 159: 0,1 à 2,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 7 à 12 269: 6 à 9,5 159: 2,1 à 6,5 IRI: 4,7 à 7,9	011: 12 à 19,7 269: 9,5 à 13,3 159: 6,5 à 16,9 IRI: 4,7 à 7,9	011: 0 à 1,7 269: 0 à 0,4 159: 0 à 0,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 1,7 à 7 269: 0,4 à 6,4 159: 0,1 à 2,3 IRI: 4,7 à 7,9	011: 7 à 12 269: 6,4 à 10,5 159: 2,3 à 7,1 IRI: 4,7 à 7,9	011: 12 à 19,7 269: 10,5 à 14,9 159: 7,1 à 18,4 IRI: 4,7 à 7,9							

## A12. RESUMO DAS SOLUÇÕES DE MANUTENÇÃO (elaborado pelo autor)

Solução	Cenários de Pavimentos	Descrição qualitativa do desempenho	Justificativa
<b>Selagem</b>	<b>1111</b>	Não há problemas estruturais, nem funcionais.	Propõe-se apenas a selagem de eventuais trincas, a fim de evitar a permeabilização do revestimento ao longo do período de projeto.
<b>TSS</b>	<b>1112 2112</b>	Não há problemas estruturais, mas podem haver problemas funcionais em função do trincamento maior que 10%.	Como não existem problemas de IRI, as trincas não propiciam grandes deslocamentos verticais, ou seja, provavelmente são superficiais, mas ocorrem em uma grande área, o que torna muito onerosa a selagem de uma por uma. Sendo assim, para um tráfego Leve ou inferior, a solução de TSS é suficiente para reconstituir a impermeabilidade e conferir a sobrevida adequada ao revestimento.
<b>REP1/4 + TSS</b>	<b>1121 2121</b>	Não há problemas estruturais, mas existem certas deficiências funcionais em função da irregularidade longitudinal.	A REP de 1 a 4 cm é proposta com espessura calculada por meio da PRO 159, visando a correção da irregularidade longitudinal. Nesse cenário, o TSS é sugerido para adequar a superfície do revestimento ao rolamento, uma vez que a massa fina utilizada na REP pode prejudicar a interação entre o pneumático e o pavimento.
<b>REP1/4 + TSD</b>	<b>1122 2122 3121 3122 4121</b>	Não há problemas estruturais, mas existem certas deficiências funcionais devido à irregularidade longitudinal. Somente para tráfegos menores que o Meio Pesado, o trincamento supera o valor de 10%.	A REP de 1 a 4 cm é proposta com espessura calculada por meio da PRO 159, visando a correção da irregularidade longitudinal. Nesse cenário, o TSD é sugerido para adequar a superfície do revestimento ao rolamento e retardar a reflexão das trincas para a superfície.
<b>REP2 + HR3/6</b>	<b>1131 2131 3131 4131 5131</b>	Não há problemas estruturais, mas existem grandes deficiências funcionais devido à irregularidade longitudinal.	Como as espessuras de REP calculadas pela PRO 159 para esse cenário foram elevadas (de 5 a 8 cm), optou-se por reduzir a camada de massa fina para 2 cm, sobre a qual será executado o revestimento com espessura de 3 a 6 cm de concreto asfáltico, com granulometria e estabilidade mais adequadas às solicitações diretas do tráfego. Em resumo, a irregularidade longitudinal é reduzida com a reperfilagem com massa fina e sanada com a camada de concreto asfáltico.
<b>FSc + TSS + HR3/6</b>	<b>1132 2132 3132</b>	Não há problemas estruturais, mas existem grandes deficiências funcionais devido à irregularidade longitudinal, além de trincamento maior que 10%.	A alta área trincada atrelada ao elevado IRI indicam a ocorrência de trincas mais profundas no revestimento, mas que provavelmente não alcançam as camadas subjacentes, devido à ausência de deficiência estrutural (deflectométrica). A FSc de 5 cm com reconstituição da espessura fresada, associada à HR de 3 a 6 cm, visa corrigir os problemas de trincamento e irregularidade longitudinal. Quando o revestimento existente possuir espessura superior à 5 cm, propõe-se a execução de um TSS abaixo da camada de concreto asfáltico, objetivando o bloqueio da propagação de eventuais trincas não fresadas para o novo revestimento.
<b>TSS ou HRx</b>	<b>1211 1212 2211 2212</b>	A deficiência estrutural varia de leve a grande e podem haver problemas funcionais em função do trincamento.	Considerando as solicitações de tráfego, que variam de Muito Leve a Leve, a presença de alta área trincada não é tão relevante em termos de tipologia de solução, uma vez que existem problemas estruturais, que devem ser corrigidos com a aplicação de uma camada de reforço asfáltico, também capaz de selar as trincas (que provavelmente são superficiais em função da ausência de IRI superior a 2,5 m/km). Dessa forma, foi proposta a solução de TSS visando atender as espessuras calculadas pelas normas para cenários de deflexão relativa próximos de 1,1; e HRx para os cenários mais próximos de 3,1.
<b>HRx</b>	<b>1221 2221 3221 4221 5211 5221 5311 5321 5411 5421</b>	A deficiência estrutural varia de leve a grande e podem haver problemas funcionais em função da irregularidade longitudinal.	Nota-se que esta tipologia de solução aplica-se a diferentes cenários de tráfego, com ou sem IRI indicativo de problemas. Isto ocorre porque a aplicação de concreto asfáltico é ideal para correção de irregularidade e elevação de rigidez do revestimento existente. Naturalmente, para cada célula onde esta solução foi indicada, devem ser respeitados os valores mínimos de espessura calculados pela PRO 159 (de 1 a 4 cm), levando-se em conta o valor do IRI, e os calculados pelas demais normas (observando o tipo de subleito para o caso da PRO 269), levando-se em conta a relação entre DC e Dadm.
<b>TSS + HRx</b>	<b>1222 2222</b>	A deterioração estrutural varia de leve a grande e existem certas deficiências funcionais em função da irregularidade longitudinal, bem como área trincada superior a 10% da área total.	O TSS é proposto como capa selante de trincas, sobre a qual será executada uma solução de HRx com espessura que respeite, tanto os valores mínimos calculados pelo critério deflectométrico, a fim de readequar a rigidez do pavimento, quanto os calculados pelo critério de IRI, a fim de corrigir os problemas de irregularidade.

Solução	Cenários de Pavimentos	Descrição qualitativa do desempenho	Justificativa
<b>REP2 + HRx</b>	<b>1231 2231 3231 4231 5231 5331</b>	Para os tráfegos menores ou iguais ao Meio Pesado a deficiência estrutural varia de leve a grande, enquanto que para os maiores, de Leve a Razoavel. Existem grandes deficiências funcionais devido à irregularidade longitudinal, mas o trincamento é menor ou igual a 10%.	Tanto os problemas estruturais quanto funcionais podem ser corrigidos por meio da aplicação de concreto asfáltico. Como as espessuras calculadas pela PRO 159 para esse cenário foram elevadas (de 5 a 8 cm), optou-se por reduzir a irregularidade, inicialmente, com uma camada de 2 cm de massa fina, sobre a qual será executada a solução de HRx, com espessura que respeite os valores mínimos calculados pela PRO 159 (reduzidos de 2 cm), levando-se em conta o valor do IRI, e os calculados pelas demais normas (observando o tipo de subleito para o caso da PRO 269), levando-se em conta a relação entre DC e Dadm.
<b>FSc + TSS + HRx</b>	<b>1232 2232 3232</b>	A deterioração estrutural varia de leve a grande e existem grandes problemas funcionais devido à irregularidade longitudinal, além de trincamento maior que 10%.	A alta área trincada atrelada ao elevado IRI indicam a ocorrência de trincas profundas no revestimento, que podem ter alcançado as camadas subjacentes, devido à presença de deficiência estrutural. A FSc de 5 cm com reconstrução da espessura fresada visa corrigir os problemas de trincamento e reduzir a irregularidade longitudinal, que será de fato sanada com a execução de camada de concreto asfáltico, com espessura que respeite os valores mínimos calculados pela PRO 159, levando-se em conta o valor do IRI, e os calculados pelas demais normas (observando o tipo de subleito para o caso da PRO 269), levando-se em conta a relação entre DC e Dadm. Quando o revestimento existente possuir espessura superior à 5 cm, propõe-se a execução de um TSS entre a FSc e o HRx, objetivando o bloqueio da propagação de eventuais trincas não fresadas, para o concreto asfáltico.
<b>Selagem ou TSS</b>	<b>2111</b>	Não há problemas estruturais, nem funcionais.	Propõe-se apenas a selagem de eventuais trincas, a fim de evitar a permeabilização do revestimento ao longo do período de projeto, ou, para pavimentos com deflexão relativa mais próxima de 1,1; recomenda-se a execução de um TSS, com o objetivo de readequar a rigidez da estrutura. Vale observar que apesar de delgada, a camada de tratamento superficial simples possui espessura compatível com as calculadas para esta faixa de deflectometria, por meio dos normativos já mencionados.
<b>Selagem ou TSD</b>	<b>3111</b>	Não há problemas estruturais, nem funcionais.	Justificativa análoga à da célula 2111 (Selagem ou TSS), porém substituindo o tratamento superficial simples por duplo. Em resumo ambas as soluções visam prolongar a duração da impermeabilidade do revestimento, sendo que o TSD é recomendado para deflexão relativa mais próxima de 1,1; objetivando também a readequação da rigidez. A substituição do tipo de tratamento superficial é justificada pelo aumento da carga de tráfego, já que o TSD propicia características mecânicas um pouco melhores que o TSS.
<b>TSD</b>	<b>3112</b>	Não há problemas estruturais, mas podem haver problemas funcionais em função do trincamento maior que 10%.	Justificativa análoga à das células 1112 e 2112 (TSS), porém substituindo o tratamento superficial simples por duplo. Em resumo, o TSD visa selar as trincas, que provavelmente são apenas superficiais, já que o IRI não indica existência de problemas funcionais. A substituição do tipo de tratamento superficial é justificada pelo aumento da carga de tráfego, já que o TSD propicia características mecânicas um pouco melhores que o TSS.
<b>TSD ou HRx</b>	<b>3211 3212</b>	A deficiência estrutural varia de leve a grande e podem haver problemas funcionais em função do trincamento.	Justificativa análoga à das células 1211, 1212, 2211 e 2212 (TSS ou HRx), porém substituindo o tratamento superficial simples por duplo. Em resumo, a readequação de rigidez necessária para este cenário também resolve o problema da alta área trincada, pois requer a execução de uma camada de reforço sobre o revestimento trincado, selando essas aberturas. Dessa forma, foi proposta a solução de TSD visando atender as espessuras calculadas pelas normas para cenários de deflexão relativa próximos de 1,1; e HRx para os cenários mais próximos de 3,1. A substituição do tipo de tratamento superficial é justificada pelo aumento da carga de tráfego, já que o TSD propicia características mecânicas um pouco melhores que o TSS.
<b>FSp + TSS + HRx</b>	<b>3222</b>	A deterioração estrutural varia de leve a grande e existem certas deficiências funcionais em função da irregularidade longitudinal, bem como área trincada superior a 10% da área total.	A FSp de 5 cm com reconstrução é proposta para corrigir os problemas de trincamento, reconstruindo a estrutura do revestimento nos locais mais deteriorados. Como a fresagem não é contínua, propõe-se a execução de uma camada de TSS sobre a solução anterior, com o objetivo de evitar a reflexão das aberturas não fresadas, na camada de revestimento de concreto asfáltico. A solução de HRx deve ter espessura que respeite, tanto os valores mínimos calculados pelo critério deflectométrico, a fim de readequar a rigidez do pavimento, quanto os calculados pelo critério de IRI, a fim de corrigir os problemas de irregularidade.
<b>MI</b>	<b>4111 5111 6111</b>	Não há problemas estruturais, nem funcionais.	Como o tráfego já varia de "Meio Pesado" a "Muito Pesado", propõe-se a solução de Mi, visando a selagem de eventuais trincas e readequação preventiva da rigidez do pavimento.
<b>FSp + MI</b>	<b>4112 5112</b>	Não há problemas estruturais, mas podem haver problemas funcionais em função do trincamento maior que 10%.	A FSp de 5 cm com reconstrução é proposta para corrigir os problemas de trincamento, reconstruindo a estrutura do revestimento nos locais mais deteriorados. Como a fresagem não é contínua, propõe-se a execução de uma camada de Mi sobre a solução anterior, com o objetivo de selar eventuais trincas e readequar preventivamente a rigidez do pavimento.

Solução	Cenários de Pavimentos	Descrição qualitativa do desempenho	Justificativa
<b>FSp + REP1/4 + TSD</b>	<b>4122</b>	Não há problemas estruturais, mas existem certas deficiências funcionais devido à irregularidade longitudinal, além de trincamento superior a 10%.	A FSp de 5 cm com reconstituição é proposta para corrigir os problemas de trincamento, reconstituindo a estrutura do revestimento nos locais mais deteriorados. A REP de 1 a 4 cm é proposta com espessura calculada por meio da PRO 159, visando a correção da irregularidade longitudinal. Nesse cenário, o TSD é sugerido para adequar a superfície do revestimento ao rolamento e retardar a reflexão das trincas para a superfície.
<b>FSc + TSD + HR3/6</b>	<b>4132</b>	Não há problemas estruturais, mas existem grandes deficiências funcionais devido à irregularidade longitudinal, além de trincamento maior que 10%.	Justificativa análoga à das células 1132, 2132 e 3132 (FSc + TSS + HR3/6), porém substituindo o tratamento superficial simples por duplo. Em resumo, a FSc associada à HR de 3 a 6 cm, visa corrigir os problemas de trincamento e irregularidade longitudinal. Quando o revestimento existente possuir espessura superior à 5 cm, propõe-se a execução de um TSD abaixo da camada de concreto asfáltico, objetivando o bloqueio da propagação de eventuais trincas não fresadas para o novo revestimento. A substituição do tipo de tratamento superficial é justificada pelo aumento da carga de tráfego, já que o TSD propicia características mecânicas um pouco melhores que o TSS.
<b>Mi ou HRx</b>	<b>4211</b>	A deficiência estrutural varia de leve a grande, mas não existem problemas funcionais.	Propõe-se a execução de uma camada de reforço estrutural com o objetivo de selar eventuais trincas e readequar a rigidez da estrutura. A solução de Mi é proposta para cenários deflectométricos, que impliquem em espessura inferior a 3 cm, enquanto que o HRx contempla os demais casos, respeitando os valores mínimos calculados pelas normas já mencionadas (observando apenas o critério de deflexão relativa).
<b>FSp + (Mi ou HRx)</b>	<b>4212</b>	A deficiência estrutural varia de leve a grande, mas podem haver problemas funcionais em função do trincamento maior que 10%.	A FSp de 5 cm com reconstituição é proposta para corrigir os problemas de trincamento, reconstituindo a estrutura do revestimento nos locais mais deteriorados. A camada de reforço estrutural executada sobre a solução de fresagem parcial tem o papel de selar eventuais trincas e readequar a rigidez da estrutura. A solução de Mi é proposta para cenários deflectométricos, que impliquem em espessura inferior a 3 cm, enquanto que o HRx contempla os demais casos, respeitando os valores mínimos calculados pelas normas já mencionadas (observando apenas o critério de deflexão relativa).
<b>FSp + TSD + HRx</b>	<b>4222 5222 5322</b>	A deterioração estrutural varia de leve a grande e existem certas deficiências funcionais em função da irregularidade longitudinal, bem como área trincada superior a 10% da área total.	Justificativa análoga à da célula 3222 (FSp + TSS + HRx), porém substituindo o tratamento superficial simples por duplo. Em resumo, a fresagem parcial é proposta para corrigir os problemas de trincamento visível, o TSD atua como camada de bloqueio de propagação de trincas e o HRx, visa tanto a readequação da rigidez do pavimento, quanto a correção dos problemas de irregularidade. A substituição do tipo de tratamento superficial é justificada pelo aumento da carga de tráfego, já que o TSD propicia características mecânicas um pouco melhores que o TSS.
<b>FSc + TSD + HRx</b>	<b>4232</b>	A deterioração estrutural varia de leve a grande e existem grandes problemas funcionais devido à irregularidade longitudinal, além de trincamento maior que 10%.	Justificativa análoga à das células 1232, 2232 e 3232 (FSc + TSS + HRx), porém substituindo o tratamento superficial simples por duplo. Em resumo, a fresagem contínua é proposta para corrigir os problemas de trincamento e reduzir a irregularidade longitudinal, que será de fato sanada com a execução de camada de concreto asfáltico, com espessura que respeite os valores mínimos calculados tanto pelo critério de IRI quanto de deflexão relativa. Quando o revestimento existente possuir espessura superior à 5 cm, propõe-se a execução de um TSD entre a FSc e o HRx, objetivando o bloqueio da propagação de eventuais trincas não fresadas, para o concreto asfáltico. A substituição do tipo de tratamento superficial é justificada pelo aumento da carga de tráfego, já que o TSD propicia características mecânicas um pouco melhores que o TSS.
<b>HR1/4</b>	<b>5121</b>	Não há problemas estruturais, mas existem certas deficiências funcionais em função da irregularidade longitudinal.	A solução HR de 1 a 4 cm é proposta com espessura calculada por meio da PRO 159, visando a correção da irregularidade longitudinal. Esta solução também contribui selando eventuais trincas e propicia a readequação preventiva da rigidez do pavimento.
<b>FSp + TSD + HR1/4</b>	<b>5122</b>	Não há problemas estruturais, mas existem certas deficiências funcionais em função da irregularidade longitudinal, além de trincamento maior que 10%.	A FSp de 5 cm com reconstituição é proposta para corrigir os problemas de trincamento, reconstituindo a estrutura do revestimento nos locais mais deteriorados. Como a fresagem não é contínua, propõe-se a execução de uma camada de TSD sobre a solução anterior, com o objetivo de evitar a reflexão das aberturas não fresadas, na camada de revestimento de concreto asfáltico. A solução de concreto asfáltico de 1 a 4 cm é proposta com espessura calculada por meio da PRO 159, visando a correção da irregularidade longitudinal, que também propicia a readequação preventiva da rigidez do pavimento.

Solução	Cenários de Pavimentos	Descrição qualitativa do desempenho	Justificativa
<b>FSc + TSDpol + HR3/6</b>	<b>5132</b>	Não há problemas estruturais, mas existem grandes deficiências funcionais devido à irregularidade longitudinal, além de trincamento maior que 10%.	Justificativa análoga à das células 1132, 2132 e 3132 (FSc + TSS + HR3/6), porém substituindo o tratamento superficial simples por duplo com polímero. Em resumo, a fresagem contínua é proposta para corrigir os problemas de trincamento e reduzir a irregularidade longitudinal, que será de fato sanada com a execução de camada de concreto asfáltico, com espessura de 3 a 6 cm. A execução do tratamento superficial duplo com ligante modificado abaixo do novo revestimento, visa impedir a propagação de eventuais trincas não fresadas para o concreto asfáltico. A utilização de polímero no tratamento superficial duplo é justificada pelas elevadas cargas de tráfego, que demandam estruturas com melhores características mecânicas.
<b>FSp + HRx</b>	<b>5212 5312 5412</b>	Existe deficiência estrutural leve e podem haver problemas funcionais, devido ao trincamento maior que 10%.	A FSp de 5 cm com reconstituição é proposta para corrigir os problemas de trincamento, reconstituindo a estrutura do revestimento nos locais mais deteriorados. A camada de reforço estrutural executada sobre a solução de fresagem com reconstituição tem o papel de selar eventuais trincas e readequar a rigidez da estrutura. A espessura da solução de concreto asfáltico deve respeitar os valores mínimos calculados pelas normas já mencionadas, com relação ao critério deflectométrico.
<b>FSc + TSDpol + HRx</b>	<b>5232</b>	Existe deficiência estrutural leve e grandes problemas funcionais devido à irregularidade longitudinal, além de trincamento maior que 10%.	Justificativa análoga à das células 1232, 2232 e 3232 (FSc + TSS + HRx), porém substituindo o tratamento superficial simples por duplo com polímero. Em resumo, a fresagem contínua é proposta para corrigir os problemas de trincamento e reduzir a irregularidade longitudinal, que será de fato sanada com a execução de camada de concreto asfáltico, com espessura que respeite os valores mínimos calculados tanto pelo critério de IRI quanto de deflexão relativa. A execução do tratamento superficial duplo com ligante modificado com polímero entre a FSc e o HRx, visa o impedir a propagação de eventuais trincas não fresadas, para o concreto asfáltico. A utilização do tratamento superficial duplo com ligante modificado com polímero é justificada devido às elevadas cargas de tráfego, que demandam estruturas com melhores características mecânicas.
<b>REC 5</b>	<b>5332 5422 5431 5432</b>	Existem grandes problemas estruturais e elevada deficiência funcional devido à irregularidade longitudinal, além de trincamento maior que 10%.	Propõe-se a reconstrução do pavimento devido ao elevado comprometimento estrutural e funcional, para o qual outras soluções de restauração não seriam suficientes para readequar a estrutura ao período de projeto planejado.
<b>FSp + HRpol 4</b>	<b>6112</b>	Não há problemas estruturais, mas podem haver problemas funcionais em função do trincamento maior que 10%.	Justificativa análoga à das células 4112 e 5112 (FSp + Mi), porém substituindo o microrrevestimento por concreto asfáltico modificado com polímero. Em resumo, a FSp é proposta para corrigir os problemas de trincamento, reconstituindo a estrutura do revestimento nos locais mais deteriorados; e a execução de HRpol 4 sobre a solução anterior tem o objetivo de selar eventuais trincas, além de readequar, de forma preventiva, a rigidez do pavimento. A substituição do microrrevestimento por concreto asfáltico modificado é justificada devido ao tráfego Muito Pesado, que demanda estruturas com melhores características mecânicas.
<b>HRpol 1/4</b>	<b>6121</b>	Não há problemas estruturais, mas existem certas deficiências funcionais em função da irregularidade longitudinal.	Justificativa análoga à da célula 5121 (HR1/4), porém substituindo o concreto asfáltico convencional por um modificado com polímero. Em resumo, a solução é proposta visando a correção da irregularidade longitudinal, que também contribui selando eventuais trincas e propiciando a readequação preventiva da rigidez do pavimento. A substituição por concreto modificado é justificada pelo tráfego Muito Pesado, que demanda estruturas com melhores características mecânicas.

Solução	Cenários de Pavimentos	Descrição qualitativa do desempenho	Justificativa
<b>FSp + TSDpol + HRpol 1/4</b>	<b>6122</b>	Não há problemas estruturais, mas existem certas deficiências funcionais em função da irregularidade longitudinal, além de trincamento maior que 10%.	Justificativa análoga à da célula 5122 (FSp + TSD + HR1/4), porém adicionando polímero ao tratamento superficial duplo e ao concreto asfáltico. Em resumo, a FSp é proposta para corrigir os problemas de trincamento, reconstruindo a estrutura do revestimento nos locais mais deteriorados. Como a fresagem não é contínua, propõe-se a execução de uma camada de TSDpol sobre a solução anterior, com o objetivo de evitar a propagação das aberturas não fresadas, para a camada de revestimento de concreto asfáltico. A solução de HRpol 1/4 é proposta com espessura visando a correção da irregularidade longitudinal, que também propicia a readequação preventiva da rigidez do pavimento. A adição de polímero ao TSD e HR é justificada devido ao tráfego Muito Pesado, que demanda estruturas com melhores características mecânicas.
<b>REP2 + HRpol 3/6</b>	<b>6131</b>	Não há problemas estruturais, mas existem grandes deficiências funcionais devido à irregularidade longitudinal.	Justificativa análoga à das células 1131, 2131, 3131, 4131 e 5131 (REP2 + HR3/6), porém acrescentando polímero ao ligante da camada de concreto asfáltico. Em resumo, a irregularidade longitudinal é reduzida por meio da reperfilagem com massa fina e sanada com a camada de concreto asfáltico. O acréscimo de polímero é justificado devido ao tráfego Muito Pesado, que demanda estruturas com melhores características mecânicas.
<b>FSc + TSDpol + HRpol 3/6</b>	<b>6132</b>	Não há problemas estruturais, mas existem grandes deficiências funcionais devido à irregularidade longitudinal, além de trincamento maior que 10%.	Justificativa análoga à das células 1132, 2132 e 3132 (FSc + TSS + HR3/6), porém substituindo o tratamento superficial simples por duplo e utilizando ligante modificado com polímero tanto no TSD, quanto no novo revestimento de concreto asfáltico. Em resumo, a fresagem contínua é proposta para corrigir os problemas de trincamento e reduzir a irregularidade longitudinal, que será de fato sanada com a execução de camada de concreto asfáltico modificado, com espessura de 3 a 6 cm. A execução do tratamento superficial duplo com ligante modificado abaixo do novo revestimento, visa impedir a propagação de eventuais trincas não fresadas para o concreto asfáltico modificado. A utilização de polímero nas camadas betuminosas é justificada pelas elevadas cargas de tráfego, que demandam estruturas com melhores características mecânicas.
<b>HRpol x</b>	<b>6211 6221 6311 6321 6411 6421</b>	A deficiência estrutural varia de leve a grande e podem haver problemas funcionais em função da irregularidade longitudinal.	Justificativa análoga à das células 1221, 2221, 3221, 4221, 5211, 5221, 5311, 5321, 5411 e 5421 (HRx), porém acrescentando polímero ao ligante. Em resumo, o reforço de concreto asfáltico visa readequar a rigidez do pavimento e corrigir os problemas de irregularidade, nos cenários onde o IRI supera 2,5 m/km. A utilização de ligante modificado com polímero é proposta devido às elevadas cargas de tráfego, que demandam estruturas com melhores características mecânicas.
<b>FSp + HRpol x</b>	<b>6212 6312 6412</b>	A deterioração estrutural varia de leve a grande e podem haver problemas funcionais, devido ao trincamento maior que 10%.	Justificativa análoga à das células 5212, 5312 e 5412 (FSp + HRx), porém acrescentando polímero ao ligante do concreto asfáltico. Em resumo, a FSp é proposta para corrigir os problemas de trincamento, reconstruindo a estrutura do revestimento nos locais mais deteriorados; e a camada de HRpol x tem o papel de selar eventuais trincas e readequar a rigidez da estrutura. A utilização de ligante modificado com polímero é proposta devido às elevadas cargas de tráfego, que demandam estruturas com melhores características mecânicas.
<b>FSp + TSDpol + HRpol x</b>	<b>6222 6322</b>	A deterioração estrutural varia de leve a regular e existem certas deficiências funcionais em função da irregularidade longitudinal, bem como área trincada superior a 10% da área total.	Justificativa análoga à da célula 3222 (FSp + TSS + HRx), porém substituindo o tratamento superficial simples por duplo e adicionando polímero às camadas betuminosas. Em resumo, a fresagem parcial é proposta para corrigir os problemas de trincamento visível, o TSD atua como camada de bloqueio de propagação de trincas e o HRx visa tanto a readequação da rigidez do pavimento, quanto a correção dos problemas de irregularidade. A substituição do tipo de tratamento superficial e utilização de ligante modificado é justificada pelo tráfego muito elevado, que demanda estruturas com melhores características mecânicas.
<b>REP2 + HRpol x</b>	<b>6231</b>	A deterioração estrutural é leve e existem certas deficiências funcionais relacionadas ao IRI.	Justificativa análoga à da célula 1231, 2231, 3231, 4231, 5231 e 5331 (REP2 + HRx), porém substituindo o tratamento superficial simples por duplo e adicionando polímero ao concreto asfáltico. Em resumo, a reperfilagem com massa fina é aplicada para reduzir a irregularidade longitudinal, que será sanada com a execução de camada de concreto asfáltico modificado. A espessura do HRx é definida respeitando os valores mínimos calculados tanto pelo critério deflectionométrico, quanto pelo estrutural. A adição de polímero ao concreto asfáltico é justificada pelo tráfego muito elevado, que demanda estruturas com melhores características mecânicas.
<b>REC 6</b>	<b>6232 6331 6332 6422 6431 6432</b>	Existem grandes problemas estruturais e elevada deficiência funcional devido à irregularidade longitudinal, além de trincamento maior que 10%.	Propõe-se a reconstrução do pavimento devido ao elevado comprometimento estrutural e funcional, para o qual outras soluções de restauração não seriam suficientes para readequar a estrutura ao período de projeto planejado.

### A13. SOLUÇÕES PARA PAVIMENTOS NOVOS (elaborado pelo autor)

#### Método do DNIT - Cenário 1 - Via Local

##### CBR baixo $\leq 6\%$

Dados de Entrada	N	(repetições do eixo padrão)	4,00E+07
	CBR subleito	%	5
	CBR reforço	%	12
Parâmetros á verificar	H20	(cm)	20
	H12	(cm)	27
	Hm	(cm)	46

Dimensionamento	Material	H (cm)	H adot (cm)	K	Heq (cm)	H eq acum. (cm)	H mín acum. (cm)	Aceito
Revestimento	TSD	-	-	-	0	0	-	-
Base	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	20	<b>20</b>	1,00	20	20	20	SIM
Sub-base	Solo CBR $\geq 20\%$	7	<b>15</b>	1,00	15	35	27	SIM
Reforço	Solo CBR = 12%	19	<b>15</b>	1,00	15	50	46	SIM

#### Método do DNIT - Cenário 2 - Via Local

##### CBR alto $> 6\%$

Dados de Entrada	N	(repetições do eixo padrão)	1,00E+04
	CBR subleito	%	8
	CBR reforço	%	-
Parâmetros á verificar	H20	(cm)	20
	-	-	-
	Hm	(cm)	35

Dimensionamento	Material	H (cm)	H adot (cm)	K	Heq (cm)	H acum. (cm)	H mín acum. (cm)	Aceito
Revestimento	TSD	-	-	-	0	0	-	-
Base	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	20	<b>20</b>	1,00	20	20	20	SIM
Sub-base	Solo CBR $\geq 20\%$	15	<b>15</b>	1,00	15	35	35	SIM
Reforço	Solo CBR = 8%	-	-	1,00	-	-	-	-

### Método do DNIT - Cenário 3 - Via Local ou Coletora

#### CBR baixo $\leq 6\%$

Dados de Entrada	N	(repetições do eixo padrão)	1,00E+05
	CBR subleito	%	5
	CBR reforço	%	12
Parâmetros á verificar	H20	(cm)	23
	H12	(cm)	31
	Hm	(cm)	52

Dimensionamento	Material	H (cm)	H adot (cm)	K	Heq (cm)	H eq acum. (cm)	H mín acum. (cm)	Aceito
Revestimento	TSD	-	-	-	0	0	-	-
Base	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	23	<b>25</b>	1,00	25	25	23	SIM
Sub-base	Solo CBR $\geq 20\%$	8	<b>15</b>	1,00	15	40	31	SIM
Reforço	Solo CBR = 12%	21	<b>15</b>	1,00	15	55	52	SIM

### Método do DNIT - Cenário 4 - Via Local ou Coletora

#### CBR alto $> 6\%$

Dados de Entrada	N	(repetições do eixo padrão)	1,00E+05
	CBR subleito	%	8
	CBR reforço	%	-
Parâmetros á verificar	H20	(cm)	23
	-	-	-
	Hm	(cm)	39

Dimensionamento	Material	H (cm)	H adot (cm)	K	Heq (cm)	H eq acum. (cm)	H mín acum. (cm)	Aceito
Revestimento	TSD	-	-	-	0	0	-	-
Base	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	23	<b>25</b>	1,00	25	25	23	SIM
Sub-base	Solo CBR $\geq 20\%$	16	<b>15</b>	1,00	15	40	39	SIM
Reforço	Solo CBR = 8%	-	-	1,00	0	-	-	-

### Método do DNIT - Cenário 5 - Via Coletora ou Arterial

#### CBR baixo $\leq 6\%$

Dados de Entrada	N	(repetições do eixo padrão)	4,00E+05
	CBR subleito	%	5
	CBR reforço	%	12
Parâmetros á verificar	H20	(cm)	24
	H12	(cm)	33
	Hm	(cm)	55

Dimensionamento	Material	H (cm)	H adot (cm)	K	Heq (cm)	H eq acum. (cm)	H mín acum. (cm)	Aceito
Revestimento	TSD	-	-	-	0	0	-	-
Base	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	24	<b>25</b>	1,00	25	25	24	SIM
Sub-base	Solo CBR $\geq 20\%$	9	<b>15</b>	1,00	15	40	33	SIM
Reforço	Solo CBR = 12%	23	<b>15</b>	1,00	15	55	55	SIM

### Método do DNIT - Cenário 6 - Via Coletora ou Arterial

#### CBR alto $> 6\%$

Dados de Entrada	N	(repetições do eixo padrão)	4,00E+05
	CBR subleito	%	8
	CBR reforço	%	-
Parâmetros á verificar	H20	(cm)	24
	-	-	-
	Hm	(cm)	42

Dimensionamento	Material	H (cm)	H adot (cm)	K	Heq (cm)	H eq acum. (cm)	H mín acum. (cm)	Aceito
Revestimento	TSD	-	-	-	0	0	-	-
Base	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	24	<b>25</b>	1,00	25	25	24	SIM
Sub-base	Solo CBR $\geq 20\%$	18	<b>20</b>	1,00	20	45	42	SIM
Reforço	Solo CBR = 8%	-	-	1,00	0	-	-	-

**Método do DNIT - Cenário 7 - Via Arterial ou de Trânsito Rápido (Meio Pesado)**

**CBR baixo  $\leq 6\%$**

Dados de Entrada	N	(repetições do eixo padrão)	5,00E+06
	CBR subleito	%	5
	CBR reforço	%	12
Parâmetros á verificar	H20	(cm)	27
	H12	(cm)	37
	Hm	(cm)	62

Dimensionamento	Material	H (cm)	H adot (cm)	K	Heq (cm)	H eq acum. (cm)	H mín acum. (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	5,0	<b>5,0</b>	2,00	10	10	-	-
Base	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	17	<b>20</b>	1,00	20	30	27	SIM
Sub-base	Solo CBR $\geq 20\%$	10	<b>15</b>	1,00	15	45	37	SIM
Reforço	Solo CBR = 12%	25	<b>20</b>	1,00	20	65	62	SIM

**Método do DNIT - Cenário 8 - Via Arterial ou de Trânsito Rápido (Meio Pesado)**

**CBR alto  $> 6\%$**

Dados de Entrada	N	(repetições do eixo padrão)	5,00E+06
	CBR subleito	%	8
	CBR reforço	%	-
Parâmetros á verificar	H20	(cm)	27
	-	-	-
	Hm	(cm)	47

Dimensionamento	Material	H (cm)	H adot (cm)	K	Heq (cm)	H eq acum. (cm)	H mín acum. (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	5,0	<b>5,0</b>	2,00	10	10	-	-
Base	Solo estab. CBR $\geq 80\%$	17	<b>20</b>	1,00	20	30	27	SIM
Sub-base	Solo CBR $\geq 20\%$	20	<b>20</b>	1,00	20	50	47	SIM
Reforço	Solo CBR = 8%	-	-	1,00	0	-	-	-

**Método do DNIT - Cenário 9 – Via Arterial ou de Trânsito Rápido (Pesado)**

**CBR baixo  $\leq 6\%$**

Dados de Entrada	N	(repetições do eixo padrão)	4,00E+07
	CBR subleito	%	5
	CBR reforço	%	12
Parâmetros á verificar	H20	(cm)	30
	H12	(cm)	41
	Hm	(cm)	69

Dimensionamento	Material	H (cm)	H adot (cm)	K	Heq (cm)	H eq acum. (cm)	H mín acum. (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	10,0	<b>10,0</b>	2,00	20	20	-	-
Base	BGS. CBR $\geq 80\%$	10	<b>15</b>	1,00	15	35	30	SIM
Sub-base	Solo CBR $\geq 20\%$	11	<b>15</b>	1,00	15	50	41	SIM
Reforço	Solo CBR = 12%	28	<b>20</b>	1,00	20	70	69	SIM

**Método do DNIT - Cenário 10 – Via Arterial ou de Trânsito Rápido (Pesado)**

**CBR alto  $> 6\%$**

Dados de Entrada	N	(repetições do eixo padrão)	4,00E+07
	CBR subleito	%	8
	CBR reforço	%	-
Parâmetros á verificar	H20	(cm)	30
	-	-	-
	Hm	(cm)	52

Dimensionamento	Material	H (cm)	H adot (cm)	K	Heq (cm)	H eq acum. (cm)	H mín acum. (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	10,0	<b>10,0</b>	2,00	20	20	-	-
Base	BGS. CBR $\geq 80\%$	10	<b>15</b>	1,00	15	35	30	SIM
Sub-base	Solo CBR $\geq 20\%$	22	<b>20</b>	1,00	20	55	52	SIM
Reforço	Solo CBR = 8%	-	-	1,00	0	-	-	-

**Método do DNIT - Cenário 11 – Via Arterial ou de Trânsito Rápido (Muito Pesado)**

**CBR baixo  $\leq$  6%**

Dados de Entrada	N	(repetições do eixo padrão)	1,00E+08
	CBR subleito	%	4
	CBR reforço	%	12
Parâmetros á verificar	H20	(cm)	31
	H12	(cm)	43
	Hm	(cm)	82

Dimensionamento	Material	H (cm)	H adot (cm)	K	Heq (cm)	H eq acum. (cm)	H mín acum. (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	12,5	<b>12,5</b>	2,00	25	25	-	-
Base	BGTC CBR $\geq$ 80%	5	<b>15</b>	1,40	21	46	31	SIM
Sub-base	BGS CBR $\geq$ 20%	11	<b>15</b>	1,00	15	61	43	SIM
Reforço	Solo CBR = 12%	40	<b>25</b>	1,00	25	86	82	SIM

**Método do DNIT - Cenário 12 – Via Arterial ou de Trânsito Rápido (Muito Pesado)**

**CBR alto  $>$  6%**

Dados de Entrada	N	(repetições do eixo padrão)	1,00E+08
	CBR subleito	%	7
	CBR reforço	%	-
Parâmetros á verificar	H20	(cm)	31
	-	-	-
	Hm	(cm)	59

Dimensionamento	Material	H (cm)	H adot (cm)	K	Heq (cm)	H eq acum. (cm)	H mín acum. (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	12,5	<b>12,5</b>	2,00	25	25	-	-
Base	BGTC CBR $\geq$ 80%	5	<b>15</b>	1,40	21	46	31	SIM
Sub-base	BGS CBR $\geq$ 20%	27	<b>15</b>	1,00	15	61	59	SIM
Reforço	Solo CBR = 8%	-	-	1,00	0	-	-	-