

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Thiarlle da Silva Domingues

**PROJETO DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE
PAVIMENTOS DA BR-153**

Porto Alegre

julho, 2019

THIARLLE DA SILVA DOMINGUES

**PROJETO DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE
PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DA BR-153**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Washington Peres Núñez
Coorientador: Prof. Matheus Ferreira Matuella

Porto Alegre

julho, 2019

THIARLLE DA SILVA DOMINGUES

**PROJETO DE REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DE
PAVIMENTOS DA BR-153**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 16 de julho de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Washington Peres Núñez (UFRGS)

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Prof. Matheus Ferreira Matuella (FEEVALE)

Msc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Co-orientador

Prof. Lélío Antônio Texeira Brito (UFRGS)

Ph.D. pela University of Nottingham
Relator

Prof. William Fedrigo (UFRGS)

MSc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a minha mãe e pai (In Memoriam),
Argeu Domingues pelo esforço empreendido durante a vida
para me ver engenheiro.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não teria saído sem a contribuição destas pessoas e instituições:

A Deus por iluminar meus caminhos durante a graduação.

Agradeço aos membros da banca de qualificação Washington P. Núñez e Matheus Matuella, Orientador e co-orientador, respectivamente, pela confiança depositada neste que vos escreve, às críticas, sugestões e apontamentos sugeridos durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos professores do Departamento de Engenharia Civil e de outros departamentos vinculados ao curso pelos ensinamentos transmitidos durante a graduação.

Agradeço aos familiares, em especial a minha mãe, Maria Edenise, e meu Pai, Argeu Domingues, que emprestaram apoio durante esta ardua caminhada para que eu chegasse até aqui, prestes a se tornar um engenheiro.

Nulla dies sine linea.

Plínio, historiador, geógrafo e gramático latino

RESUMO

O presente trabalho refere-se ao projeto de reabilitação estrutural da BR-153/GO utilizando o procedimento B da norma DNER-PRO 11/79. Em muitos projetos de restauração do DNIT, esse método tem sido empregado por não exigir o conhecimento das espessuras do pavimento, como é o caso deste trabalho.

Inicialmente, fez-se uma revisão bibliográfica a partir de artigos, dissertações e livros para a compreensão de conceitos e procedimentos relacionados a estrutura do pavimento, a avaliação estrutural não-destrutiva, métodos de reforço e retroanálise de bacias. Logo após, a partir dos dados de levantamento defletoométrico e estimativa de tráfego fornecido pela concessionária.

Considerando o resultado do diagnóstico da qualidade do pavimento, foi proposta, para cada subtrecho, a necessidade ou não de medida corretiva e o critério para o cálculo da espessura de reforço.

Adicionalmente, para avaliar o desempenho estrutural das camadas do pavimento, as bacias defletoométricas foram retroanalizadas através do método de Albernaz de modo a caracterizar o comportamento resiliente do sistema pavimento-subleito.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação genérica da seção do pavimento.....	21
Figura 2 - Pavimento rígido.....	25
Figura 3 - Pavimento flexível.....	25
Figura 4 - Distribuição de esforços no pavimento rígido e flexível.....	25
Figura 5 - Esquemas de curvas de desempenho do pavimento.....	28
Figura 6 - Ensaio de amostra de corpos-de-provas.....	29
Figura 7 - Esquema de viga Benkelmam.....	31
Figura 8 - Esquema da deformada e do raio de curvatura.....	32
Figura 9 - FWD.....	35
Figura 10 - Divisão do trecho em segmentos homogêneos.....	42
Figura 11 - Fases da vida estrutural do pavimento.....	43
Figura 12 - Linhas de igual deflexão na sistema pavimento + subleito.....	47
Figura 13 - ($E_p \times r_x$); ($E_{SL} \times r_x$) e ($T_x \times r_x$)	49
Figura 14 – Mapa de localização.....	50
Figura 15 - Medidas de deflexão convertidas para medidas em viga Benkelman.....	53
Figura 16 - Bacia medida x estimada.....	57
Figura 17 - ($E_p \times r_x$); ($E_{SL} \times r_x$) e ($T_x \times r_x$) 3ª faixa.....	58
Figura 18 - Levantamento deflectométrico (Lado direito).....	60
Figura 19 - Levantamento deflectométrico (Lado esquerdo).....	61
Figura 20 - Distribuição percentual das deflexões por faixa.....	64
Figura 21 - Condição estrutural do pavimento por faixa.....	72
Figura 22 - Módulos retroanalísados - Faixa 1 – Lado direito.....	75
Figura 23 - Módulos retroanalísados - Faixa 2 – Lado direito	76
Figura 24 - Módulos retroanalísados – Faixa 1 – Lado esquerdo.....	77
Figura 25 - Módulos retroanalísados – Faixa 2 – Lado esquerdo.....	78
Figura 26 - Comparativo módulo subleito (E_{s1}) vs módulo admissível ($E_{sl_{adm}}$) vs Deflexão – Faixa 1 – Lado direito.....	81
Figura 27 - Comparativo módulo Pavimento (E_p) vs módulo admissível ($E_{p_{adm}}$) vs Deflexão – Faixa 1 – Lado direito.....	81
Figura 28 - Comparativo módulo subleito (E_{s1}) vs módulo admissível ($E_{sl_{adm}}$) vs Deflexão – Faixa 2 – Lado direito.....	82

Figura 29 - Comparativo módulo Pavimento (E_p) vs módulo admissível ($E_{p_{adm}}$) vs Deflexão – Faixa 2 – Lado direito.....	82
Figura 30 - Comparativo módulo subleito (E_{sl}) vs módulo admissível ($E_{sl_{adm}}$) vs Deflexão – Faixa 1 – Lado esquerdo.....	83
Figura 31 - Comparativo módulo Pavimento (E_p) vs módulo admissível ($E_{p_{adm}}$) vs Deflexão – Faixa 1 – Lado esquerdo.....	83
Figura 32 - Comparativo módulo subleito (E_{sl}) vs módulo admissível ($E_{sl_{adm}}$) vs Deflexão – Faixa 2 – Lado esquerdo.....	84
Figura 33 - Comparativo módulo Pavimento (E_p) vs módulo admissível ($E_{p_{adm}}$) vs Deflexão – Faixa 2 – Lado esquerdo.....	84
Figura 34 - Distribuição percentual módulo Subleito (E_p) vs módulo do Pavimento vs módulo admissível (E_{adm}) – Faixa 1 – Lado direito.....	85
Figura 35 - Distribuição percentual módulo Subleito (E_p) vs módulo do Pavimento vs módulo admissível (E_{adm}) - Faixa 1 – Lado direito.....	85
Figura 36 - Distribuição percentual módulo Subleito (E_p) vs módulo do Pavimento vs módulo admissível (E_{adm}) - Faixa 2 – Lado direito.....	86
Figura 37 - Distribuição percentual módulo Subleito (E_p) vs módulo do Pavimento vs módulo admissível (E_{adm}) – Faixa 2 – Lado esquerdo.....	86
Figura 38 - Correlação entre deflexão máxima e módulo do subleito (E_{sl}) – Faixa 1 – Lado direito.....	87
Figura 39 - Correlação entre deflexão máxima e módulo do subleito (E_{sl}) – Faixa 1 – Lado esquerdo.....	88
Figura 40 - Correlação entre deflexão máxima e módulo do subleito (E_{sl}) – Faixa 2 – Lado direito.....	88
Figura 41 - Correlação entre deflexão máxima e módulo do subleito (E_{sl}) – Faixa 1 – Lado esquerdo.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Termos aplicáveis a camadas de revestimentos asfálticos variáveis.....	24
Tabela 2 - Fator direcional por faixa de veículos.....	40
Tabela 3 - Limites legais do Contran.....	40
Tabela 4 - Árvore de decisões da norma.....	44
Tabela 5 - Volume de Tráfego.....	51
Tabela 6 – Medidas de deflexão convertidas para medidas em viga Benkelman.....	53
Tabela 7 - Valores de Z em função de n.....	55
Tabela 8 - Fator de correção sazonal.....	55
Tabela 9 - Parâmetros obtidos pelo método de Albernaz.....	57
Tabela 10 - Cálculo do Número N.....	59
Tabela 11 - Espessura necessária (km 489, 900 – km 603, 49) – Faixa 1 – Lado direito.....	64
Tabela 12 - Espessura necessária (km 603,59 – km 703,778) – Faixa 1 – Lado direito.....	65
Tabela 13 - Espessura necessária (km 489, 900 – km 597, 49) – Faixa 2 – Lado direito.....	66
Tabela 14 - Espessura necessária (km 597,49 – km 703,78) – Faixa 2 – Lado direito.....	67
Tabela 15 - Espessura necessária (km 489, 900 – km 603, 49) – Faixa 1 – Lado esquerdo.....	68
Tabela 16 - Espessura necessária (km 607, 99 – km 703, 78) – faixa 1 – Lado esquerdo.....	69
Tabela 17 - Espessura necessária (km 489, 900 – km 607, 69) – Faixa 2 – Lado esquerdo.....	70
Tabela 18 - Espessura necessária (km 607, 79 -km 703, 746) – Faixa 2 – Lado esquerdo.....	71
Tabela 19 - Espessura necessária (km 552, 160 – km 552, 83) 3ª faixa – Lado direito.....	71
Tabela 20 - Espessura necessária (km 552, 166 – km 542, 81) 3ª faixa – Lado esquerdo.....	72
Tabela 21 - Análise estatística dos valores individuais do Pavimento.....	79
Tabela 22 - Análise estatística dos valores individuais subleito.....	79

LISTA DE SÍMBOLOS

R_c : Raio de curvatura

x_n : distância genérica em relação ao ponto de aplicação da carga

d_o : deflexão máxima

d_n : deflexão afastada n de d_o :

l_i : Leitura inicial no extensômetro

l_f : Leitura final no extensômetro

k : constante da viga dada pela relação entre o braço maior e o braço menor, articulado

F_d : Força de pico

m_n : massa do peso que cai

g : aceleração da gravidade

h : altura de queda

n : constante de mola do sistema de amortecedores

IGG: Índice de Gravidade Global

VDMA: Volume Diário Médio Anual

F_v : Fator de veículo

F_d : Fator direcional

F_{VMDA} : Fator de distribuição e volume médio diário

D_i - valores individuais das deflexões elásticas no trecho i (0,01 mm)

D - média aritmética dos valores individuais no trecho i (0,01 mm)

CV : coeficiente de variação

F_s : fator de correção sazonal

D_{adm} : deflexão admissível

h_{cb} : espessura do reforço do pavimento (cm);

K : fator de redução de deflexão

F_s : fator de correção sazonal

D_p : deflexão de projeto

DNER: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

FWD: *Falling Weight Deflectometer*

SAMIs: *Stress Absorbing Membrane Interlayer*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	17
2.1 QUESTÕES DE PESQUISA.....	17
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	17
2.2.1 Objetivo Principal	17
2.2.2 Objetivos específicos	17
2.3 DELIMITAÇÕES.....	18
2.4 LIMITAÇÕES.....	18
2.5 DELINEAMENTO.....	18
3 O PAVIMENTO RODOVIÁRIO	20
3.1 CONSTITUIÇÃO DO PAVIMENTO.....	20
3.1.1 Subleito	21
3.1.2 Sub-base	22
3.1.3 Base	22
3.1.4 Revestimento	23
3.2 TIPOS DE PAVIMENTOS.....	24
4 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL	27
4.1 TIPOS DE ENSAIOS.....	28
4.2 EQUIPAMENTOS DEFLECTOMÉTRICOS.....	30
4.1.1 Viga Benkelman	30
4.1.2 Deflexões por impacto com <i>Falling Weight Deflectometer</i>	33
5 REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS	37
5.1 DIMENSIONAMENTO DE REFORÇOS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.....	38
5.2 AVALIAÇÃO DO TRÁFEGO E CÁLCULO DO NÚMERO N.....	39
5.3 DIVISÃO EM SEGMENTOS HOMOGÊNEOS.....	40
5.4 DNER – PRO 11/79.....	42
5.5 RETROANÁLISE EM PAVIMENTOS.....	45
5.1.1 O método de Albernaz	47
6 METODOLOGIA	50
6.1 A RODOVIA.....	50
6.2 ESTIMATIVA DO TRÁFEGO.....	51

6.3 LEVANTAMENTO DEFLECTOMÉTRICO.....	52
6.4 SEGMENTOS HOMOGÊNEOS.....	53
6.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	54
6.6 RETROANÁLISE DAS BACIAS.....	56
7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	59
7.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO.....	59
7.2 COMPARATIVO DAS DEFLEXÕES POR FAIXA.....	59
7.3 DIMENSIONAMENTO DA CAMADA DE REFORÇO.....	63
7.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS MÓDULOS RETROANALISADOS.....	74
7.5 COMPARATIVO MÓDULOS RETROANALISADOS x MÓDULOS ADMISSÍVEIS.....	80
7.6 CORRELAÇÃO ENTRE MÓDULO DO SUBLEITO (E_{SL}) E DEFLEXÃO CARACTERÍSTICA.....	87
8 CONCLUSÕES.....	90
REFERÊNCIAS.....	93

1. INTRODUÇÃO

A rodovia é o principal meio de escoamento dos bens de produção da economia brasileira e liga os produtores aos centros de consumo. Segundo estudos da CNT (2017), as rodovias brasileiras escoam 61,1 % das cargas pelo território nacional e atingem 92,5 milhões de passageiros. No entanto, apesar da importância da rodovia na economia brasileira, carecem de investimentos contínuos, o que gera um sucateamento da malha rodoviária que tem impacto no custo operacional e viário da rodovia (CNT, 2017).

Esse sucateamento produz redução nas condições funcionais e estruturais e, ao longo do tempo, a queda da qualidade ao rolamento contribui para o surgimento de degradações nos pavimentos que impactam a economia e a segurança do usuário.

De acordo com FRANCISCO (2012, p. 3) “é fundamental garantir o controle das degradações dos pavimentos, avaliando, ao longo do tempo, a capacidade estrutural dos pavimentos, [...], efetuando a avaliação estrutural e, [...], realizar reabilitação estrutural dos pavimentos.”

Nesse sentido, um projeto de reabilitação de pavimento precisa da definição dos parâmetros estruturais e funcionais necessários para caracterizar o pavimento e permitir a identificação das falhas estruturais. Isso é possível através de ensaios de avaliação estrutural. A avaliação estrutural pode ser de dois tipos: destrutiva e não-destrutiva. A avaliação estrutural destrutiva permite obter o módulo de resiliência a partir da coleta de amostras em campo e ensaio em laboratório. Por outro lado, a avaliação não-destrutiva, o módulo de resiliência são estimados por meio do levantamento e interpretação das medidas das bacias deflectométricas (CAVALCANTE, 2005). A deflexão elástica é um parâmetro essencial na avaliação da deformabilidade das camadas pavimento, pois, caracteriza o seu estado estrutural para o estudo de recuperação de pavimentos asfálticos. avaliando, ao longo do tempo, a capacidade estrutural dos pavimentos, garantir um comportamento adequado, efetuando a avaliação estrutural e, quando necessário, realizar reabilitação estrutural dos pavimentos.

Diante disso, o presente trabalho pretende propor um projeto de reabilitação de pavimento com base na norma DNER PRO 11/79. foram estabelecidas as áreas de abrangências das praças de pedágio e estimados o volume de tráfego da rodovia. capacidade de suporte de cada subtrecho foi avaliada estruturalmente de acordo com o Procedimento B da norma DNER-PRO 11/79. Para isso, foram calculados parâmetros representativos de cada segmento, o que possibilita

diagnosticar se o segmento apresentava comportamento inadequado ou não. Com base no diagnóstico de qualidade do subtrecho, a norma sugeriu soluções de projeto para cada subtrecho homogêneo e a necessidade de reforço do pavimento.

Na segunda parte do trabalho foram retroanalisadas bacias deflectométricas de cada trecho para avaliar os módulos do pavimento (E_p) e do subleito (E_{sl}) por faixa. Estes parâmetros foram retroanalisados utilizando o método de Albernaz.

Em seguida, fez-se o tratamento estatístico dos dados de modo a obter informações do comportamento resiliente das camadas do pavimento e subleito.

Para avaliar desempenho estrutural das camadas, foram estabelecidos comparativos dos módulos retroanalisados com os limites mínimos por faixa. Após isso, tentou-se estabelecer um comparativo entre as deflexões e os módulos do subleito (E_{sl}).

2. DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos itens a seguir.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: empregando o procedimento B da norma DNER-PRO 11/79 e o método de Albernaz, o segmento da rodovia BR-153/GO atende a função estrutural?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos são classificados como principal e específicos, descritos detalhadamente abaixo.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a capacidade estrutural de pavimentos da BR-153/GO, identificando possíveis falhas estruturais e propor medidas para reabilitação.

2.2.2 Objetivos específicos

- a) Apresentar tipos de estruturas e bases de cálculos;
- b) Analisar as deflexões medidas *in loco*, segundo o método da AASHTO (1993);
- c) Definir e avaliar a capacidade estrutural de trechos homogêneos, empregando o método DNER-PRO 11/79;
- d) Aplicar árvore de decisões como ferramenta de tomada de decisão para a definição de restauração do trecho com problema estrutural;
- e) Avaliar o módulo resiliente da estrutura pavimento/subleito;
- f) Considerações finais.

2.3 DELIMITAÇÕES

Este projeto é restrito ao trecho de rodovia compreendido entre os km 489,900 e km 703,4, localizado no estado de Goiás.

2.4 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) O emprego da norma DNER-PRO 11/79 nesse trabalho se deve ao fato de não se dispor das espessuras do pavimento. Igualmente torna inviável a aplicação do método mecanístico-empírico da DNER PRO 269/94, que também exige o conhecimento das espessuras das camadas e da abordagem mecanística, pois não se teria como obter os módulos de todas as camadas por retroanálise
- b) Ausência de inventário de superfície do pavimento;
- c) Falta de dados sobre a composição da frota circulante na rodovia.

2.5 DELINEAMENTO

Para a realização deste trabalho, seguiu-se as seguintes etapas, apresentadas em capítulos:

- a) Pesquisa bibliográfica;
- b) Elaboração de diagramas unifilares de deflexão e identificação de segmentos homogêneos;
- c) Definição das áreas de abrangência das praças de pedágio para definição do volume de tráfego de projetos;
- d) Identificação dos segmentos considerados inadequados e especificação da camada com deficiência;
- e) Criação de árvore de decisões, com base nas deflexões de projeto;
- f) Retroanálise das bacias deflectométricas e avaliação de desempenho das camadas do pavimento e subleito;
- g) Aplicação da árvore de decisões para definição da solução restauradora para o respectivo segmento homogêneo;

h) Conclusões

3. O PAVIMENTO RODOVIÁRIO

Tipicamente, o pavimento é um conjunto estratificado de camadas de espessuras variadas que recebe as cargas oriundas do tráfego e clima e as distribui, em profundidade, as demais camadas sem submetê-las a tensões e deformações que possam levá-lo a ruína. Além disso, para que o pavimento seja resistente, econômico e durável, deve atender níveis de conforto e segurança sem acarretar em aumento dos custos operacionais para o usuário (BALBO, 2007; PINTO; PREUSSLER, 2002; MARQUES, 2006).

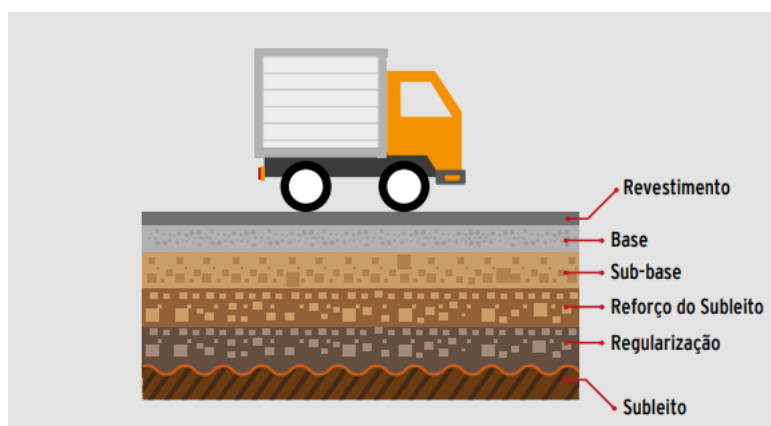
Para atingir tais objetivos, é imprescindível assegurar desempenho estrutural e funcional adequado da rodovia. O comportamento estrutural é dependente dos materiais e espessuras das camadas e da capacidade de carga das camadas; já os aspectos funcionais referem-se ao impacto da condição superficial na percepção do usuário da rodovia. É na fase de projeto, portanto, que devem ser previstas a aplicação adequada dos materiais compatíveis com a vida útil que se deseja manter através das intervenções de conservação e reforço para que esse objetivo seja alcançado (CEPSA, 2014; BERNUCCI *et al.*, 2008).

Nesse sentido, é importante o entendimento do comportamento das estruturas de pavimentos, este capítulo aborda brevemente os tipos de pavimentos e a composição de cada camada.

3.1 CONSTITUIÇÃO DE UM PAVIMENTO

As camadas que constituem o pavimento são: revestimento, base, sub-base, subleito ou fundação e reforço de solo de fundação. A figura 1 ilustra a disposição das camadas que constituem um pavimento

Figura 1 - Representação genérica da seção do pavimento



(Fonte: CNT, 2017, p. 3)

A seguir são descritas brevemente a composição das camadas da seção transversal de um pavimento flexível.

3.1.1 Subleito

Geralmente, a execução do pavimento rodoviário tem início com o preparo e compactação da camada que receberá a estrutura do pavimento, chamada de subleito. Essa camada é constituída por solo oriundo de corte do solo local ou aterro transportado (BALBO, 2007).

Quando o subleito não apresenta capacidade de suporte “[...] pode ser submetido a estabilização ou até adicionado de uma camada de melhor qualidade, constituindo no final o designado “leito do pavimento” (FRANCISCO, 2012, p. 6).

O leito do pavimento tem segundo Jacinto (2003) as seguintes funções:

A curto prazo, permitir o tráfego de equipamento de obras e assegurar a capacidade de suporte para a construção das camadas dos pavimentos e proteger o solo subjacente contra a ação dos agentes climáticos;

A longo prazo, garantir uma plataforma com capacidade de suporte homogênea e compatível com o valor tomado no dimensionamento do pavimento, [...], assegurar a drenagem da água que percola através do pavimento ou evitar a ascensão capilar das águas internas e impedir a contaminação da sub-base ou da base pelos finos do solo. (JACINTO, 2003, p.30)

Acima do leito, são lançadas duas camadas antes do pavimento propriamente dito: camada de regularização e de reforço. A camada regularização, segundo Marques (2006, p. 6), “é a

operação destinada a conformar o leito, transversal e longitudinalmente. Poderá ou não existir, dependendo das condições do leito”. A camada de reforço, como já citado, serve para aumentar a resistência estrutural do subleito e melhorar o desempenho das camadas superiores do pavimento.

Por fim, para o dimensionamento das camadas são necessárias informações sobre o solo, tais como, “identificação e quantificação das suas características físicas e mecânicas assim como a obtenção dos parâmetros geotécnicos necessários ao dimensionamento da estrutura” (MARQUES, 2006, p. 9).

3.1.2 Sub-base

Logo acima do leito, é lançada a sub-base, camada de características mecânicas inferiores a base e revestimento (PINTO; PREUSSLER, 2002). É executada quando se deseja reduzir custo de execução da camada de base, principalmente em casos onde a mesma for muito espessa (BALBO, 2007).

“Deve ser usada quando não for aconselhável executar a base diretamente sobre o leito regularizado ou sobre o reforço, por circunstâncias técnico-econômicas. Pode ser usado para regularizar a espessura da base” (MARQUES, 2006, p. 6).

Os materiais utilizados na sub-base, são essencialmente, formados por materiais granulares ou estabilizados quimicamente (PINTO; PREUSSLER, 2002; BALBO, 2007).

3.1.3 Base

A base, camada de transição da sub-base para o revestimento, é segundo Marques (2006, p.6): “Camada destinada a resistir e distribuir ao sub-leito, os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se construirá o revestimento”.

“A capacidade estrutural da base está relacionada às propriedades de resistência e rigidez dos materiais empregados em sua constituição, que podem ser os mesmos listados para a sub-base, mas de melhor qualidade [...]” (CNT, 2017, p. 17).

Segundo Balbo (2007, p. 32) “Os materiais a aplicar nesta camada podem ser formados por “[..] solo estabilizado naturalmente, mistura de solos e agregados [..], brita graduada, brita graduada tratada com cimento, solo estabilizado quimicamente com ligante hidráulico ou asfáltico”.

Os materiais utilizados na sub-base, são essencialmente, formados por materiais granulares ou estabilizados quimicamente (PINTO; PREUSSLER, 2002; BALBO, 2007).

3.1.4 Revestimento

O revestimento é composto de materiais granulares aglutinados com ligante asfáltico ou hidráulico. Segundo Oda (2000, p.1) “O ligante pode ser um cimento asfáltico ou cimento asfáltico modificado e suas principais funções são: atuar como elemento de ligação, colando as partículas minerais, e agir como um agente impermeabilizante da mistura”. Por outro lado, o ligante hidráulico ou concreto de cimento Portland é uma mistura usinada constituída de cimento, água e agregados que são dosadas, transportadas em caminhões-betoneira e lançadas na pista.

A superfície de revestimento submetida ao tráfego incidente da rodovia deve cumprir requisitos como oferecer uma superfície resistente, regular, aderente, impermeável e menos ruidosa (BALBO, 2007).

Além disso, Marques (2006) destaca que o revestimento cumpre outras duas funções, tais como:

Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;

Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento. (MARQUES, 2006, p.1)

Segundo Balbo (2008, p. 36) o revestimento tem outras funções tais como, “receber as cargas [..] sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de componentes ou, ainda, perda de compactação; necessita, portanto, ser composto de materiais bem aglutinados [..] de maneira a evitar a sua movimentação horizontal.

Por fim Bernucci *et al.* (2008) comenta que a camada de revestimento asfáltico pode ser composta de várias sub-camadas, como por exemplo, camada de rolamento e ligação (binder), podendo ser suprimidas ou não dependendo de fatores relacionados como volume de tráfego e os materiais disponíveis.

A figura 1 ilustra os termos aplicados as sub-camadas de revestimento asfáltico.

Tabela 1 – Termos aplicáveis a camadas de revestimento asfáltico

Designação do revestimento	Definição	Outras designações
Camada de rolamento	É a camada superficial do pavimento, diretamente em contato com as cargas e com ações ambientais.	Camada de desgaste, capa de rolamento, revestimento
Camada de ligação	É a camada intermediária, também em mistura asfáltica, entre a camada de rolamento e a base do pavimento.	Camada de <i>binder</i> ou simplesmente <i>binder</i>
Camada de nivelamento	Em geral, é a primeira camada de mistura asfáltica empregada na execução de reforços (recapeamento) cuja função é corrigir os desníveis em pista e os afundamentos localizados e nivelar o perfil do greide para posterior execução da nova camada de rolamento.	Camada de reperfilagem ou simplesmente reperfilagem
Camada de reforço	Nova camada de rolamento, após anos de uso do pavimento existente, executada por razões funcionais, estruturais ou ambas.	"Recape" e recapeamento são termos populares (usa-se também a expressão "pano asfáltico")

(Fonte: CNT, 2017, p. 5)

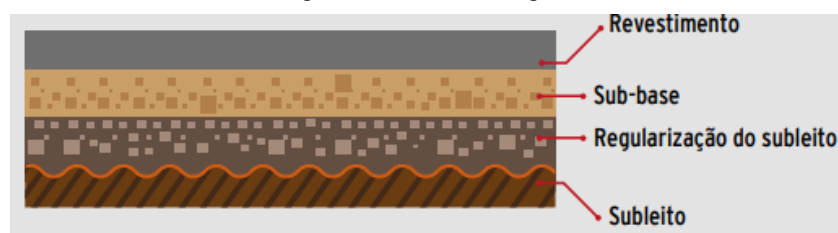
3.2 TIPOS DE PAVIMENTOS

De um modo geral, os pavimentos rodoviários distinguem-se de acordo com a flexibilidade do conjunto das camadas quando submetida por um carregamento em: pavimentos rígidos, pavimentos flexíveis e semi-rígidos.

Por outro lado, os pavimentos flexíveis são compostos por uma camada asfáltica ou betuminosa assentada sobre uma base granular ou estabilizada granulometricamente, sub-base e reforço do subleito (BERNUCCI *et al*, 2008). As figuras 2 e 3 apresentam as seções transversais dos pavimentos rígido e flexível, respectivamente.

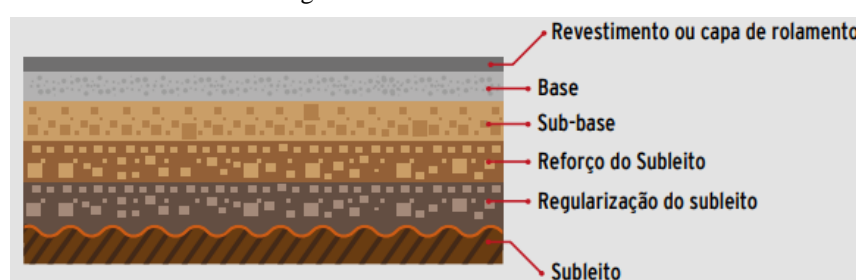
Uma terceira categoria de pavimento, chamada de semi-rígida é forma “ [...] constituído por uma ou mais camadas de misturas betuminosas (camada de desgaste e camada intermédia) e a sub-base é habitualmente constituída por um material granular, estabilizado na maioria dos casos” (CEPSA, 2014, p. 27).

Figura 2 - Pavimento rígido.



(Fonte: CNT, 2017, p. 28)

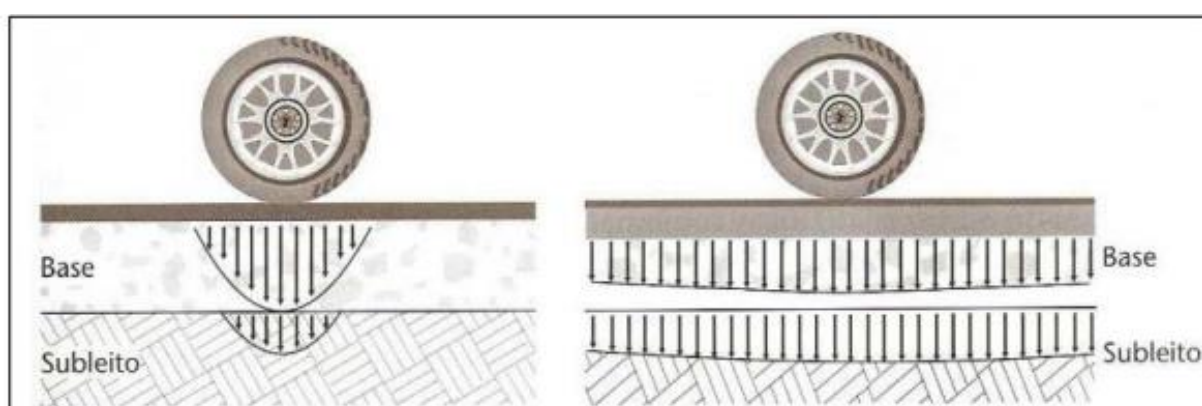
Figura 3 - Pavimento flexível.



(Fonte: CNT, 2017, p. 25).

Uma distinção expressiva entre os pavimentos rígidos e flexíveis está associada a sua deformabilidade e do modo como as tensões se distribuem entre as camadas. A figura 4 mostra esquematicamente a distribuição das tensões nas camadas de pavimentos rígidos e flexíveis quando submetida ao carregamento dos veículos.

Figura 4 - Distribuição de esforços no pavimento rígido e flexível.



(Fonte: Balbo, 2007, p. 47)

Nos pavimentos rígidos, a rigidez da placa de concreto é elevada, de modo que a distribuição das tensões para as camadas subjacentes ocorre em um espaço maior, ao passo que, nos pavimentos flexíveis, a rigidez entre as camadas é similar, de modo que as tensões se distribuem de maneira proporcional e concentrada nas camadas superficiais (BERNUCCI *et al.*, 2008).

4. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

Os pavimentos flexíveis são dimensionados para um período de vida útil compatível com o volume de tráfego previsto no projeto. No entanto, a partir da abertura do tráfego da rodovia, observa-se redução nas condições de serventia do pavimento, como consequência da ação do tráfego e do clima, que tem impacto sobre o nível de serviço prestado ao usuário (Figura 5). Para restaurar o nível de serventia inicial, são necessárias estratégias de reparação bem como o momento ideal da intervenção com o objetivo de diminuir o custo de ciclo de vida do pavimento (PINTO; PREUSSLER, 2002; BERNUCCI *et al.*, 2008.).

Para isso, o engenheiro necessariamente precisa de informações para a tomada de decisão da medida corretiva mais adequada, fornecidas pela avaliação estrutural.

Bernucci *et al* (2008) define avaliação estrutural:

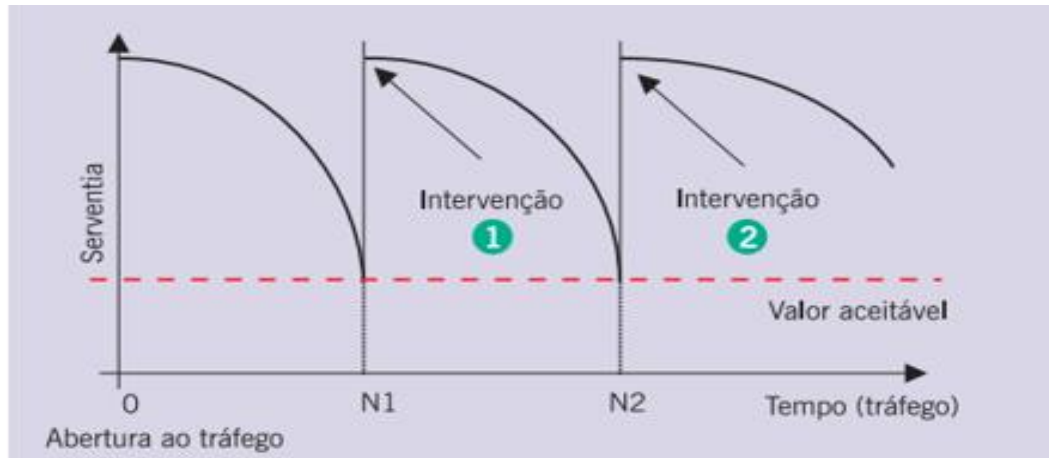
A avaliação estrutural, por sua vez, está associada ao conceito de capacidade de carga, que pode ser vinculado diretamente ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento. Os defeitos estruturais resultam especialmente da repetição das cargas e vinculam-se às deformações elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes. As deformações elásticas são avaliadas por equipamentos próprios chamados genericamente de defletômetros por medirem os deslocamentos verticais nomeados como “deflexão” do pavimento. Elas são responsáveis pelo surgimento da maioria dos trincamentos ao longo da vida do pavimento, e que podem levar à fadiga do revestimento. As deformações plásticas são acumulativas durante os anos de vida de um pavimento e resultam em defeitos do tipo afundamento localizado ou nas trilhas de roda [...]. (BERNUCCI *et al*, 2008, p.442).

Segundo Balbo (2007, p. 403) “combinadas com a avaliação dos defeitos superficiais, possibilitam [...] a definição dos padrões e causas de patologias existentes no pavimento, visando a sua completa reparação, sendo portanto, complementar a avaliação de defeitos [...]”.

Um projeto de reabilitação de pavimento deve prever a etapa de avaliação estrutural, no qual são realizados ensaios que permitam caracterizar o pavimento através da determinação de parâmetros de modo a se ter um diagnóstico da sua capacidade estrutural naquele instante. Portanto, um retrato fidedigno da condição estrutural consiste em definir materiais, espessura e a integridade dos materiais (BALBO, 2007; MEDINA, 2005).

A caracterização pode ser efetuada da avaliação um conjunto de parâmetros de estado que descrevem as características funcionais e estruturais tais como deflexão, estado superficial, regularidade longitudinal, atrito transversal etc (FRANCISCO, 2012).

Figura 5 - Esquema de curvas de desempenho do pavimento.



(Fonte: Bernucci *et al*, 2008)

4.1 TIPOS DE ENSAIOS

Os parâmetros de deformabilidade podem ser estimados por meio de ensaios, que podem ser divididos em: avaliação destrutiva, semi-destrutiva e não-destrutiva.

Os ensaios destrutivos permitem caracterizar fisicamente o pavimento através da sondagem e extração de amostras do solo para serem ensaiadas em laboratório e determinados parâmetros tais como resistências das camadas, materiais e espessuras (BALBO, 2007). A figura 6 mostra a extração de amostras de corpo de prova.

Segundo DNIT (2006) as principais informações obtidas nos ensaios de laboratório são

- a) Limites de Atterberg – Índice (LL, LP, LC);
- b) Teor de umidade;
- c) Espessuras;
- d) Uniformidade do material na camada
- e) Tipo de material;
- f) Intrusão do material de subleito nas camadas de sub-base ou base;
- g) permeabilidade;
- h) capacidade de suporte (CBR);

- i) Módulo Resiliente;
- j) Características tensão-deformação. (DNIT, 2006, p.78)

“Algumas informações podem ser utilizadas para determinar o coeficiente estrutural de cada camada[.]. Os coeficientes estruturais podem ser utilizados para determinar a vida remanescente do pavimento, em termos de número de solicitações de carga [..] por eixo” (DNIT, 2006, p.79).

“A avaliação destrutiva apresenta a desvantagem de ter que interromper o tráfego e causar defeito na seção do pavimento” (MORAES, 2015, p. 6).

Figura 6 - Extração de amostras de corpos de prova



(Fonte: Bernucci *et al*, 2008)

O método semidestrutivo investiga a condição estrutural das camadas do pavimento utilizando equipamentos portáteis como, “Penetrômetro Dinâmico de Cone [..] instrumento que permite realizar ensaios de penetração dinâmica no solo em seu estado natural e em estruturas de pavimentos cujas camadas são levemente cimentadas e solos ” (ALVES, 2002, p. 6).

“Este ensaio não requer grandes escavações ou perfurações, por isso é caracterizado como um ensaio semi não-destrutivo, sendo assim, uma forma econômica de investigar o pavimento, além de não interferir no tráfego dos veículos ” (ALVES, 2002, p .1).

Por fim, nos ensaios não-destrutivos, busca-se obter a capacidade estrutural do pavimento através da aplicação de uma carga conhecida (valor previsto em normas rodoviárias) e o registro das deflexões do pavimento por deflectômetros. (BALBO, 2007; FRANCISCO, 2012).

A escolha do tipo de ensaio depende da informação e do nível de detalhe pretendido pelo projetista. (BALBO, 2007; FRANCISCO, 2012).

Nas seções seguintes serão abordadas a metodologia utilizada nos ensaios não-destrutivos que permite a obtenção dos parâmetros deflectométricos. Esses parâmetros permitem a caracterização do segmento para fins de projeto de reforço.

4.2 EQUIPAMENTOS DEFLECTOMÉTRICOS

Um dos primeiros procedimentos de avaliação do estrutural são as campanhas de levantamento da bacia deflectométrica. Esses ensaios buscam reproduzir o efeito da repetição de cargas na estrutura de pavimento de modo que representem a resposta do pavimento ao tráfego incidente.

Os principais equipamentos usados nos levantamentos deflectométricos podem ser, segundo Bernucci *et. al.* (2008) em:

- a) Carregamento estático: Exemplo: ensaio de placa e viga Benkelmam, viga automatizada;
- b) Carregamento dinâmico: Exemplo: dynaflect;
- c) Carregamento por impacto: *falling weight deflectometer* (FWD), KUAB FWD.

No Brasil, os aparelhos de aplicação generalizada são a viga Benkelman e o *Falling Weight Deflectometer*.

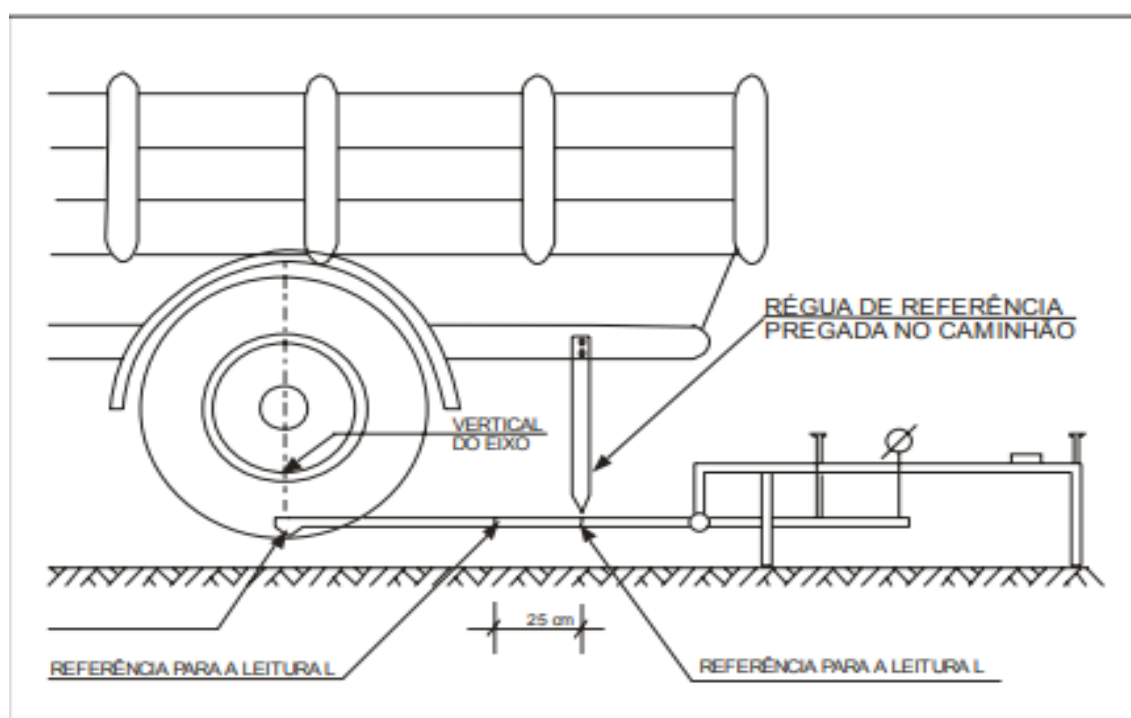
4.1.1 Viga Benkelman

A viga Benkelman é um equipamento que mede a deformabilidade do pavimento, quando este é submetido a uma carregamento quasi-estático, entre as rodas duplas de uma caminhão, com

uma determinada pressão, velocidade e carga pre-estabelecida. (JACINTO, 2003; MADRUGA, 2007).

O equipamento é constituído de uma barra metálica articulada formando dois braços cujos comprimentos do braço metálico ao eixo de rotação e deste ao de acionamento do extensômetro obedecem uma relação 2/1, 3/1 ou 4/1 (a/b), conforme previsto na norma DNIT 133/2010-ME. Na outra ponta da barra, tem-se um extensômetro, de precisão 0,01 mm, destinado a leitura das deformações (DNIT, 2010; BALBO, 2007). A figura 6 mostra o esquema básico de funcionamento da viga.

Figura 7 - Esquema da viga Benkelman



(Fonte: DNIT, 2006, p. 6)

O ensaio tem início com o posicionamento da viga entre as rodas do caminhão. A extremidade da viga deve estar posicionada na vertical do eixo traseiro simples de rodas duplas, tendo como referência uma régua de madeira. O caminhão deve apresentar carga de 8,2 tf ou 80 kN nos eixos traseiros e pressão de inflação 100 psi. (DNIT, 2010, FRANCISCO, 2012).

Tendo uma das rodas traseiras posicionadas na estação e o o vibrador ligado, é feita a leitura inicial L_i da deflexão no extensômetro situado sobre o braço articulado. Terminada a leitura, o vibrador é desligado e a viga é transportada manualmente até a próximo ponto do ensaio. O

caminhão percorre 10 m contra o desenvolvimento da viga ou até que a deflexão se estabilize. Na sequência, o vibrador é ligado novamente para fazer a leitura final L_f da deflexão no extensômetro. (DNIT, 2010, FRANCISCO, 2012)

Para determinar o raio de curvatura da bacia de deformação, faz-se uma leitura adicional, isto é, desloca-se o eixo do caminhão 25 cm à frente

$$R = \frac{10x_n^2}{2*(d_0 - d_n)} \quad (1)$$

Sendo:

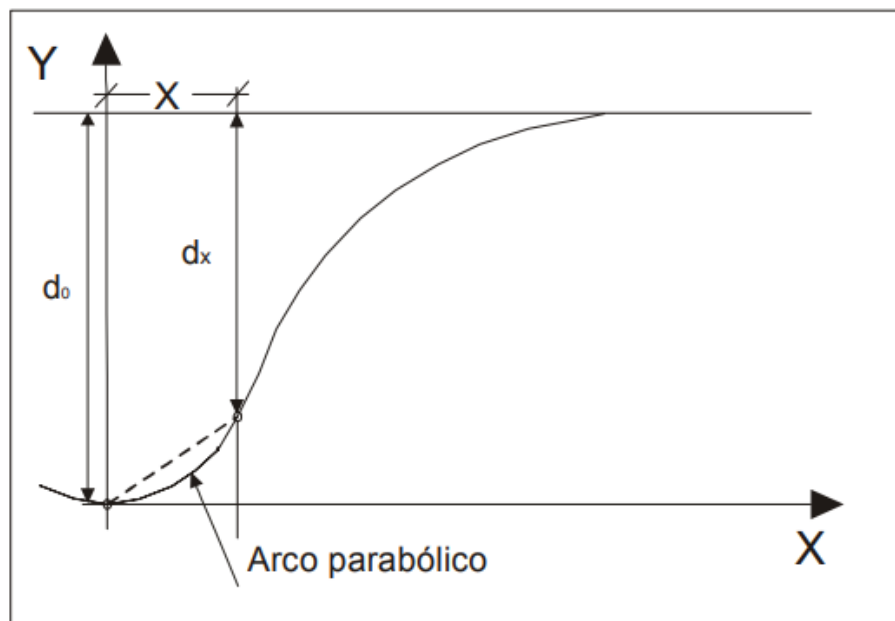
R : raio de curvatura;

x_n : distância genérica em relação ao ponto de aplicação de carga;

d_0 e d_n = deflexão máxima e deflexão afastada n de d_0 ;

R é dado em metros, X_n em cm, d_0 e d_n em centésimos de milímetros.

Figura 8 - Esquema da deformada e do Raio de Curvatura



(Fonte: DNIT, 2006)

A deflexão d_0 associada ao deslocamento recuperável é:

$$d_0 = (L_i - L_f) \cdot K \quad (2)$$

Onde:

d_0 : deflexão máxima na ponta de prova;

L_i : leitura inicial no extensômetro;

L_f : leitura final no extensômetro;

K : constante da viga dada pela relação entre o braço maior e o braço menor, articulado;

Sendo d_0 , L_i , L_f em centésimo de milímetro.

Dentre as principais limitações associadas à operação da viga Benkelman, segundo (BORGES, 2001):

- a) Ensaio é moroso;
- b) Dificuldade de determinação das características de deformabilidade do pavimento pois o pavimento tem suas propriedades mecânicas alteradas em função da tempo de aplicação do carregamento;
- c) Dispersão espacial elevada das leituras;
- d) Impossibilidade de assegurar que as bases de apoio da viga estejam fora da deformada.

Ainda o mesmo autor cita como vantagens da viga Benkelman:

- a) Baixo custo de aquisição e operação;
- b) Não é necessário mão de obra especializada;
- c) A bacia deflectométrica se aproxima da real deformabilidade do pavimento;

4.1.2 Deflexões por impacto com *Falling Weight deflectometer*

Os equipamentos do tipo *Falling Weight Deflectometer* (FWD) são dispositivos que melhor simulam o efeito do tráfego real simulando a passagem de uma carga de roda a uma velocidade entre 60 e 80 km com uma duração de 25 a 33 milissegundos nas condições de suporte do pavimento. (SANTOS, 2009; DNER, 1996).

Os primeiros dispositivos remontam da década de 60, na França, no Laboratoire Central des Ponts Chaussées. Na década de 70, foram testados na Suécia (Tholen T., 1982 *apud* Jacinto, 2003) e Dinamarca, que exportou a tecnologia para os Estados Unidos (Sorensen A. *et al*, 1982 *apud* Jacinto, 2003). No Brasil a introdução do equipamento ocorreu no final da década de 80

e foi determinante para o avanço de pesquisas e desenvolvimento de métodos de dimensionamento e reforço de pavimentos. Os procedimentos do ensaio estão normalizadas na DNER PRO 273/96, do extinto DNER.

Dentre os vários modelos de equipamentos tipo FWD citam-se:

- a) Dynatest Falling Weight Deflectometer;
- b) Dynatest HWD; KUAB Falling Weight Deflectometer;
- c) Phoenix Falling Weight Deflectometer;
- d) Nagaoka KUAB Falling Weight Deflectometer.

O equipamento é composto por um sistema de reboque que abriga um conjunto de amortecedores de borracha, placas e sensores. O dispositivo é rebocado por um veículo que carrega um computador que registra a deflexão na superfície do pavimento. (BERNUCCI *et al.*, 2008; DNER-PRO 273/96).

Neste ensaio, a carga liberada é transmitida para a superfície do pavimento por meio de uma placa circular (DNER, 1996; BERNUCCI *et al.*, 2008; SANTOS, 2009). A medição das deflexões é feita instantaneamente por sete transdutores distribuídos em uma barra a uma certa distância em relação ao eixo de carregamento (FRANCISCO, 2012). O primeiro sensor, localizado no eixo de carga e os demais estão posicionados a 20, 30, 45, 60, 90, 120 e 150 cm do referido eixo que permitem obter a deformada ou bacia deflectométrica do pavimento (LOPES, 2012).

Figura 9 - FWD



(Fonte: DYNATEST, 2012)

A força de pico aplicada ao pavimento, por meio da placa de carga pode ser calculada pela fórmula

$$F_d = (2 * m * g * k)^{0,5} \quad (3)$$

onde:

F : Força de pico;

m : massa do peso que cai;

g : aceleração da gravidade;

h : altura de queda;

n : constante de mola do sistema de amortecedores

De acordo com Lopes (2012) e Bernucci *et al.* (2008), as vantagens do uso do FWD são:

- a) Acurácia e repetibilidade nas medições;
- b) Possibilidade de levantar vários pontos por dia;
- c) Registro automático da temperatura do ar e da superfície do pavimento e de distâncias entre os pontos de ensaio;
- d) Recomendado para controle estrutural das camadas do pavimento desde o subleito até a camada de revestimento;

“Algumas desvantagens do FWD são: custo do equipamento, necessidade de calibrações mais sofisticadas, diferenças de resultados entre marcas.” (BERNUCCI et al, 2008)

Outros autores também citam benefícios associados ao uso do FWD. Para Pinto e Preussler (2002), o equipamento FWD está a frente a viga Benkelman porque é capaz de simular o efeito do tráfego real em termos de magnitude e frequência, ou seja, as deflexões se aproximam das produzidas por uma carga dinâmica. Já Medina (1997) destaca que a possibilidade de obtenção do módulo de resiliência das camadas a partir da retroanálise das bacias deflectométricas, geralmente obtidos por programas computacionais.

5. REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS.

Na reabilitação de pavimentos asfálticos é de grande importância o conhecimento da condição estrutural do pavimento para que se adote estratégias adequadas de intervenção com o intuito de restituir os níveis de serventia funcionais e estruturais iniciais do pavimento. No caso de restaurações com foco funcional estão associadas as melhorias das aspectos funcionais como por exemplo, defeitos e irregularidades (FRANCISCO, 2012). Já as reabilitações estruturais podem ser atribuídas ao dimensionamento da camada de reforço adequada por meio dos métodos mecanístico-empírico. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

A reabilitação estrutural é indicada em casos onde o pavimento atingiu o seu estado de ruína por acúmulo de deformações ao longo da vida útil da rodovia. A solução de reabilitação é a aplicação de uma camada de reforço em uma estrutura existente (BERNUCCI *et al.*, 2008; BALBO, 2007, FRANCISCO, 2012). Nesta técnica, é possível compor soluções isoladas ou combinadas de:

- a) Concreto asfáltico (DNIT 031/2006);
- b) Pré-Misturado a Quente + Concreto asfáltico; Concreto asfáltico +
- c) SMA (*Stone Matrix Asphalt*);
- d) SMA e outras misturas asfálticas de granulometria descontínua;
- e) tratamento superficial duplo ou microrrevestimento + concreto asfáltico.(BERNUCCI *et al.*, 2008, p. 468)

Caso sejam identificados níveis elevados de trincamento, Torrão (2015), sugere que o tratamento das camadas envolve o emprego de técnicas que reduzam ou eliminem a reflexão de trincas, tais como:

- a) SAMI'S (*stress absorbing membrane interlayer*) é uma camada fina intermediária, localizada entre o recapamento e o revestimento antigo, executada com o objetivo de aliviar e diminuir movimentos e tensões em trincas e juntas (BERNUCCI *et al.*, 2008).
- b) Geotêxtil impregnado com ligante asfáltico: é camada composta de geotêxtil envolvido com ligante asfáltico. A combinação dos dois materiais é capaz de reter betume o que o torna eficaz no retardo de trincas (TORRÃO, 2015).

- c) Fresagem: compreende a remoção de parte ou toda a camada de revestimento ou base até a profundidade desejada (TORRÃO, 2015). O corte das camadas é executado com o auxílio de uma fresador, rolo de corte formado por serras ou dentes de diamante. (BERNUCCI *et al*, 2008).
- d) Reciclagem: Por fim, na reciclagem, a mistura é produzida a partir de materiais removidos por fresagem e adição de novos materiais. No material fresado são incorporados agregados, ligantes asfálticos e concreto betuminoso que possibilitam produzir novas camadas (TORRÃO, 2015).

5.1 DIMENSIONAMENTO DE REFORÇOS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Bernucci *et. al* (2008) define o papel da reforço estrutural como:

Operação de restauração onde se aproveita o valor residual da estrutura do pavimento e acrescenta uma nova camada de mistura asfáltica (também dito recapeamento). Atualmente, pode incluir a fresagem de parte do revestimento antigo além da colocação de nova camada estrutural de revestimento ou camadas de reposição de conforto ao rolamento (BERNUCCI *et al*, 2008)

Para o dimensionamento de um pavimento é necessário obter informações sobre o tráfego, condições climáticas e geotécnicas, [...] que permitem definir o tipo de pavimento e os materiais a utilizar em cada camada” (JACINTO, 2003, p.119).

Existem diversos métodos associados com o dimensionamento de reforço, no entanto, têm-se atualmente quatro métodos reconhecido pelo DNIT para dimensionamento de reforço de pavimentos:

- a) DNER PRO 10/79 – Procedimento A;
- b) DNER PRO 11/79 – Procedimento B;
- c) DNER PRO 159/85;
- d) DNER PRO 269/94 – TECNAPAV,

O desempenho adequado está associado a definição de parâmetros e critérios de dimensionamento que devem ser verificados para que a rodovia mantenha o seu nível de serventia (RIBAS, 2013), que serão descritos a seguir:

5.2 AVALIAÇÃO DO TRÁFEGO E CÁLCULO DO NÚMERO N

O estudo de tráfego pode ser atribuído às solicitações produzidas pelo tráfego misto que o pavimento está submetido durante o período de projeto (CAVALCANTE, 2005). As cargas produzem ações de carregamento e descarregamento ao longo do período de projeto, que resultam em defeitos em revestimentos. Esses danos evoluem e se acumulam no tempo, provocando a fadiga do revestimento. Dada a importância da estimativa do tráfego na vida útil e na capacidade de suporte no revestimento, deve ser considerado no dimensionamento de pavimento (CASTRO, s.d.).

A solicitação de tráfego pode ser estimada pelo número N que, segundo DNIT (2006 b), é número de repetições de eixo-padrão de 8,2 tf que produz efeito equivalente ao tráfego real na rodovia e é calculado pela equação abaixo:

$$N_t = n_{vc} * F_v * F_d * F_{VDMA} \quad (4)$$

Onde

N_t : número de veículos totais no ano i;

n_{vc} : número de veículos comerciais no ano i;

F_v : fator de veículos;

F_d : fator direcional;

F_{VDMA} : fator distribuição de volume médio diário anual;

O fator de veículo é definido como o produto entre o fator de equivalência (FC) e do fator de carga (FEC). O fator de carga é a média ponderada dos veículos comerciais que circulam na rodovia que, multiplicado pelo Volume Médio Diário Anual (VDMA), fornece o número de eixos que solicitam o pavimento. Já o fator de equivalência de carga converte o número de eixos equivalentes em uma carga eixo padrão. Esses eixos foram estimados em pistas experimentais da AASHTO e USACE. (PINTO; PREUSSLER, 2002; DNIT, 2006 b).

Por fim, o fator direcional é definido em função da faixa mais solicitada pelo pavimento na pista de projeto (DNIT, 2006a). Na tabela abaixo, são apresentados os fatores de distribuição percentuais de veículos comerciais em função do número da faixa de tráfego.

Tabela 2 - Fator direcional por faixa de veículos

Número de faixas de Tráfego da rodovia	Percentual de veículos comerciais na faixa de projeto (c)
2 (pista simples)	50 %
4 (pista dupla)	35 a 48 %
6 ou mais (pista dupla)	25 a 48 %

(Fonte: DNIT, 2006a)

Multiplicando-se o volume médio diário anual pelo fator de veículo, F_v , obtém-se a carga equivalente de eixo padrão.

Os limites máximos permitidos de carga para veículos comerciais no Brasil são fixados pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). A lei estabelece uma tolerância de excesso de peso por eixo de 7,5% (CAVALCANTE, 2005).

A tabela abaixo apresenta os limites de de carga legal por eixo:

Tabela 3 - Limites Legais do Contran

TIPO DE EIXO	CARGA LEGAL (tf)
Eixo simples de roda simples	6
Eixo simples de rodas duplas	10
Eixo tandem duplo	17
Eixo tandem triplo	25,5

(Fonte: Cavalcante, 2005)

5.3 DIVISÃO EM SEGMENTOS HOMOGÊNEOS

Segundo Balbo (2007, p. 416), “um segmento homogêneo é caracterizado como um trecho de pavimento que apresenta, dentro de seus limites, similaridade em termos funcionais, estruturais e de tráfego”.

Jacinto (2003) explica a necessidade da delimitação de segmentos homogêneos para se avaliar a capacidade de suporte de um pavimento:

A análise estrutural é realizada, na maioria das vezes, em trechos com grande extensão, sendo inviável, por aspectos técnicos e economicos, a análise de todos dos

pontos de ensaio, a não ser que se trate de uma zona de comportamento anormal, onde pode o estudo ser realizado pontualmente.

Torna-se assim necessário a análise de segmentos que representem um número de subtrechos com características estruturais semelhantes. (JACINTO, 2003, p.113)

Para a divisão do pavimento em regiões de comportamento homogêneo, usam-se os parâmetros que apresentem homogeneidade quanto a determinadas propriedades de um trecho entre os quais: deflexões, quilometragem, flechas nas trilhas de roda, módulos de resiliência, tráfego, constituição do pavimento, inventário de defeitos e irregularidade longitudinal. A escolha do parametro da avaliação depende do que se considerar relevante para o desempenho do pavimento e estratégias de recuperação estrutural (DNIT, 2006).

Nos projetos de recuperação estrutural, usa-se a deflexão máxima como valor representativo da condição do pavimentos, por melhor traduzir o comportamento global do pavimento (FRANCISCO, 2012).

Para a delimitação de segmentos homogêneos utiliza-se o método das diferenças acumuladas da AASHTO (1993). A partir das deflexões máximas resultante dos ensaios não-destrutivos, deve-se plotar gráficos que mostrem a variação dos parâmetros ao longo do trecho. Segundo Bernucci (2008, p.464) “cada variação do coeficiente angular indica uma mudança no comprimento médio de um determinado segmento para outro, delimitando as extremidades dos segmentos homogêneos”.

Da análise da alteração dos parâmetros ao longo do trecho, é feita a divisão em segmentos homogêneos. O resultado final é a determinação do valor representativo do subtrecho para cada um dos segmentos definidos (JUNIOR *et al*, s.d, BALBO, 2007).

Bernucci *et al* (2008) apresenta a sequência de cálculo aplicada neste trabalho:

1. Calcula-se a média da deflexão máxima para todo o trecho (D);
2. Calcula-se a diferença entre cada valor individual e a média da deflexão máxima;
3. soma dos desvios acumulados das diferenças para todos os pontos do ensaio da rodovia;
4. Plota-se em um gráfico, nas abscissas as distâncias e nas ordenadas os valores acumulados das diferenças

$$\text{Cálculo da média das deflexões no trecho } i: \bar{D}_i = \frac{D(i-1)+D_i}{2} \quad (5)$$

$$\text{Cálculo da área entre estações na estaca } i: A_i = \bar{D}_i \times \Delta l_i \quad (6)$$

$$\text{Soma das áreas acumuladas: } A_c = \sum A_i \quad (7)$$

$$\text{Soma das distâncias acumuladas: } L_c = \sum \Delta l_i \quad (8)$$

$$\text{Cálculo dos valores acumulados das diferenças } Z_i = \sum A_i - \tan \alpha \sum \Delta l_i \quad (9)$$

Definidos os parâmetros, plotar em um gráfico os valores das distâncias acumuladas e da diferença acumulada, conforme figura 10.

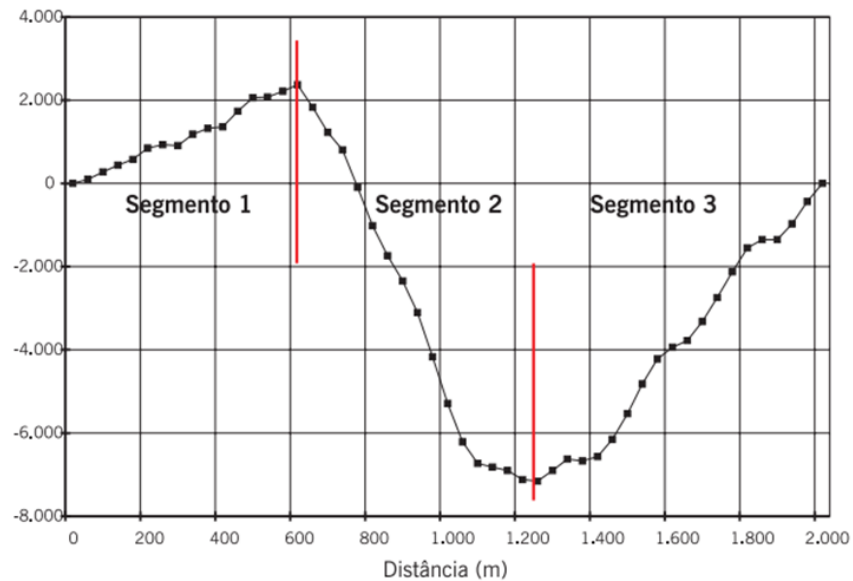
Onde:

D_i = deflexão na estaca i ;

Δl_i = distância entre estações;

$$\tan \alpha = \frac{A_c}{L_c} \quad (10)$$

Figura 10 – Exemplo de divisão de trecho em segmentos homogêneos



(Fonte: Bernucci *et al.*, 2008, p.466)

5.4 DNER - PRO 119

O método DNER PRO 11/79 foi criado pelo engenheiro Lobo Carneiro, inspirado nos estudos de Lassale e Langumier em 1967, na França, e do argentino Celestino Ruiz (FRANCO, 2007). É um método que associa o aparecimento de falhas com a deflexão e o raio de curvatura, dois dos principais parâmetros de deformabilidade na avaliação estrutural (JUNIOR *et al.*, s.d).

Segundo Balbo (2007, p.9),“ o método tem como fundamento a hipótese de que a deflexão [...] admissível para uma mistura asfáltica é função da repetição das cargas [...]” Esse critério evita que o pavimento rompa por fadiga (apenas por controle de deflexão) e não surjam trincas (JUNIOR *et al*, s.d, p.4).

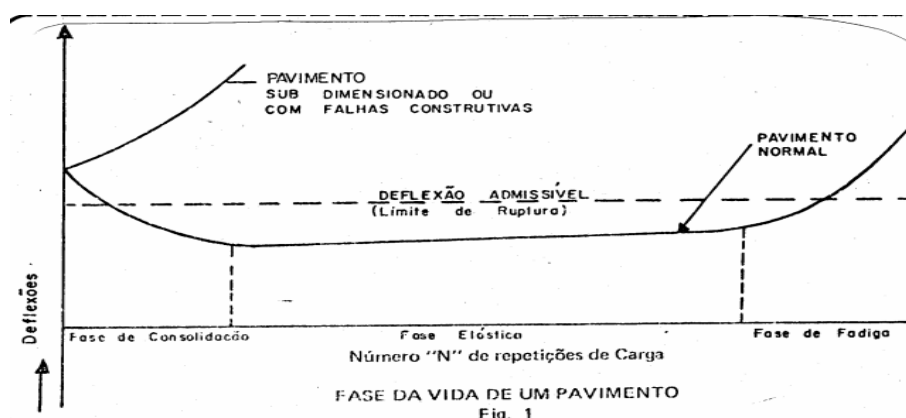
Segundo DNER (1979) e DNIT (2006) o ciclo de vida do pavimento pode ser classificado, com relação a deflexão, em três fases fundamentais da vida estruturais do pavimento, conforme a figura 11, a saber:

Fase de consolidação: Fase que sucede imediatamente construção, sendo caracterizada por um decréscimo desacelerado do valor da deflexão, decorrente da consolidação adicional, proporcionada pelo tráfego nas diversas camadas do pavimento. O valor da deflexão tende a se estabilizar ao fim desta primeira fase.

Fase elástica: Fase que sucede a de consolidação, e ao longo da qual o valor da deflexão do pavimento, a menos das variações sazonais, se mantém aproximadamente constante ou cresce ligeiramente.

Fase de fadiga: Fase que sucede a elástica, caracterizando-se por um crescimento acelerado do valor de deflexão do pavimento, na medida em que a estrutura começa a exteriorizar os efeitos da fadiga, representados por fissuras, trincas e acúmulo de deformações permanentes sob cargas repetidas. Caso não se tomem medidas para esforço e recuperação do pavimento, observa-se, geralmente, nesta fase um processo acelerado de degradação do pavimento. (DNER, 1979, p. 1).

Figura 11 - Fases da vida estrutural.



(Fonte: DNER,1979)

Para isso, a norma indica procedimentos preliminares para caracterização da condição estrutural do pavimento, tais como: Determinação das deflexões com viga Benkelman; Inventário do estado da superfície do pavimento; sondagens complementares a pá e picareta, sondagem rotativa nas camadas betuminosas (PINTO E PREUSSLER, 2002).

“Os resultados dos estudos deflectométricos de superfície e das prospecções realizadas são representados graficamente objetivando facilitar a divisão do trecho em segmentos homogêneos” (DNIT, 2006, p.142). Após o levantamento das informações, em cada segmento homogêneo, são calculados os parâmetros que representem estatisticamente o comportamento de cada subtrecho do pavimento. (PINTO E PREUSSLER, 2002).

Por fim a norma classifica a qualidade estrutural dos segmentos homogêneos para adoção estratégias de intervenção adequadas em três tipos: boa, má e regular. O enquadramento em um destas três condições estruturais será determinado considerando os critérios estabelecidos na tabela xx, tais como se o raio de curvatura R está abaixo do mínimo, relação entre as deflexões D_p , D_{adm} abaixo ou acima de 3 ou $IGG > 180$.

Tabela 4 - Árvore de decisões da norma

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

(Fonte: DNER, 1979)

O dimensionamento da espessura de reforço pode ser calculado pelo critério deflectométrico/deformabilidade ou de resistência. No critério deflectométrico, a espessura é

dependente da deflexão admissível e de projeto. Por outro lado, no critério de resistência, a altura do reforço é efetuada em função do CBR do subleito e tráfego previsto.

Uma limitação do método é de permitir que o dimensionamento do reforço seja feito exclusivamente por das deflexões admissíveis e características obtidas do campo, apesar da norma propor levantamentos de superfície ou sondagem. Além disso, não diz como os dados de inventários de superfície devem ser tratados ou que ações corretivas tomar nas áreas onde os pavimentos estão degradados (JUNIOR *et al*, s.d).

5.5 RETROANÁLISE EM PAVIMENTOS

Os métodos de dimensionamento de reforço de pavimentos asfálticos reforçados tinham como premissa a experiência adquirida em campo e laboratório; porém, não apresentava desempenho satisfatórios, pois os métodos eram restringidos às condições nas quais foram desenvolvidos (MACÊDO, 2003; CAVALCANTE, 2005).

No entanto, com o avanço tecnológico e científico observado em meados da década de 70, na área de mecânica dos pavimentos, foi possível o estudo de métodos capazes de caracterizar os parâmetros elásticos por meio, por exemplo, execução de ensaios triaxiais, cálculo das tensões e deformações por meio de programas de computador e retroanálise das bacias de deflexão. (PINTO; PREUSSLER, 2002; MACÊDO, 2003; MEDINA, 1997). Neste contexto começam a ser incorporados nos métodos de dimensionamento a abordagem mecanística pelos órgãos rodoviários (PINTO; PREUSSLER, 2002). Atualmente, métodos com abordagem mecanística têm sido utilizados nos países desenvolvidos (Silva, 2014 *apud* SOARES E SILVA, 2015). No entanto, no Brasil, ainda está concentrada nas concessionárias (SANTOS; SOARES, 2015).

A aplicação do método exige a definição do módulo de resiliência (MRs) das camadas dos pavimentos. O módulo de resiliência é a razão entre a tensão e deformação recuperável e pode ser obtido das seguinte forma (CAVALCANTE, 2005; SOARES; SILVA, 2015):

- a) Ensaio de laboratório: por meio da extração de amostra dos corpos de prova de solos (ensaio triaxial dinâmico) e misturas asfálticas (compressão diametral). O MR é definido, no caso dos solos a partir da deformação recuperável; no caso de misturas por

meio da deformação específica resiliente. (CAVALCANTE, 2005; BENEVIDES, 2000 *apud* SOARES; SILVA, 2015)

- b) Retroanálise: estimativa dos MR a partir das bacias deflectométricas obtidas no levantamento deflectométrico.

Vilella e Marcon (2001) *apud* Nobrega (2003) define retroanálise como:

A retroanálise é um processo que permite a obtenção dos módulos de resiliência das camadas do pavimento e subleito. Esta determinação é feita a partir das bacias deflectométricas que o pavimento apresenta quando submetido ao carregamento externo, que é simulado através de ensaios não-destrutivos, podendo utilizar equipamentos como a viga Benkelman, universalmente divulgada ou o FWD, instrumento mais sofisticado capaz de obter determinações mais precisas (VILLELLA e MARCON, 2001 *apud* NOBREGA, 2003).

“[...] a retroanálise é realizada com os seguintes objetivos: A obtenção dos módulos de resiliência dos materiais[.]; e minimização do número de sondagens para determinação das espessuras e coletas de amostras para determinação dos parâmetros desejados [,,]” (NOBREGA, 2003, p. 45).

Com relação a retroanálise, foco desta seção, pode ser divididos em métodos iterativos e simplificados. Nos métodos iterativos “é feita através de tentativas, até a obtenção de um determinado critério de convergência, que tem como objetivo a minimização das diferenças” (PREUSSLER, *et al*, 2000 *apud* NOBREGA, 2003, p.48). Esses procedimentos apresentam boa acurácia; no entanto, perdem em tempo de processamento dos dados, podendo durar dias para o trecho ser retroanalisado. (MACÊDO, 2003). Os principais métodos iterativos são o ELSYM 5, FEPAVE, BACKMEDINA, BISAR, CHEVRON, MPAVE.

Nos métodos simplificados as formulações são baseadas na Teoria das elasticidade aplicada aos meios homogêneos e isotrópicos e elásticos. O sistema multicamadas é transformado em um sistema de camada de pavimento-subleito. É um método vantajoso em situações onde não se tem informações detalhadas, como por exemplo, anteprojetos. Os principais métodos simplificados são o método AASHTO (1993), Método de Fabricío *et al*. (1994) e o Método de N Albernaz (1997)

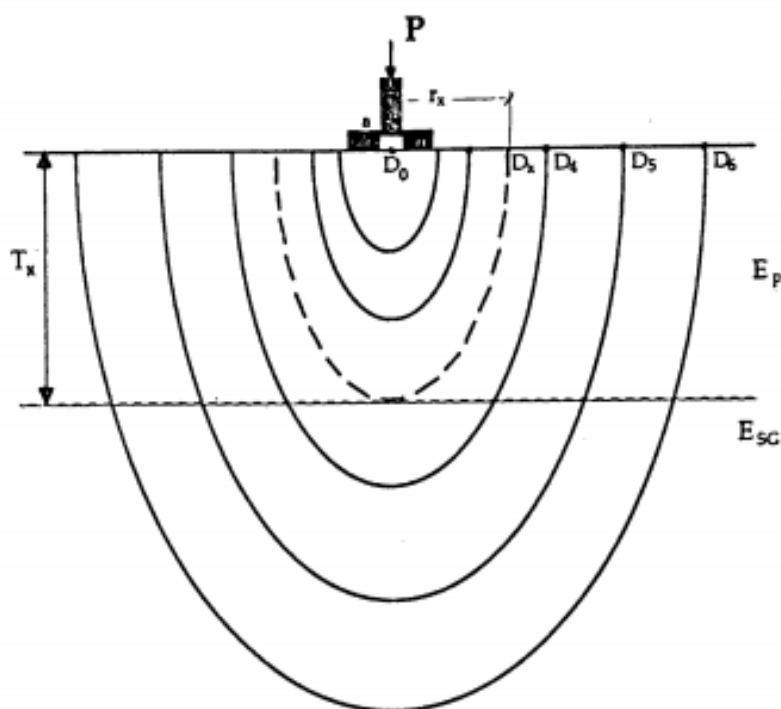
Neste trabalho será empregado o método de Albernaz, uma vez que permite estimar os módulos resiliência nos casos em que não se dispõe de informações da estrutura do pavimento como, por exemplo, espessuras das camadas do pavimento.

5.5.1 O método de Albernaz

Esse método baseado no banco de dados de deflexões de viga Benkelman do DER-MG (ALBERNAZ, 1997 *apud* MACEDO, 2003).

Albernaz adaptou o método de Noureldin (1993), supondo dois casos: na primeira situação, a estrutura foi carregada com o eixo padrão dos ensaios de viga benkelman e, na segunda, uma placa. O objetivo do ensaio era que as duas estruturas exibissem as mesma deformadas. A estrutura do pavimento real é transformada em uma sistema equivalente de duas camadas: pavimento e subleito. Além disso, foram considerados um coeficiente de poisson de 0,5 para as duas camadas e pressão de contato na superfície de 5,65 kgf/cm².

Figura 12 - Linhas de iguais deflexões verticais no sistema pavimento-subleito



(Fonte: NOURELDIN, 1993, p. 24)

As equações de módulo efetivo do pavimento (E_p), módulo do subleito (E_{SL}) e a espessura efetiva do pavimento (T_x) do método são apresentados a seguir conforme as equações abaixo:

Módulo resiliente do subleito (E_{SL}):

$$E_{SL} = \frac{1193}{r_x D_x} \quad (11)$$

Módulo efetivo do pavimento (E_p):

$$E_p = \frac{142 - \frac{1193}{r_x}}{D_0 - D_x} \quad (12)$$

Espessura relativa do pavimento (T_x):

$$T_x = 1,264 \cdot \left[\frac{D_0 - D_x}{D_x \cdot \left(\frac{r_x}{3,3} - 2,54 \right)} \right]^{1/3} \times (4r_x^2 - 282,3)^{1/2} \quad (13)$$

Onde:

D_x = Deflexão correspondente ao ponto situado à distância radial r_x (cm);

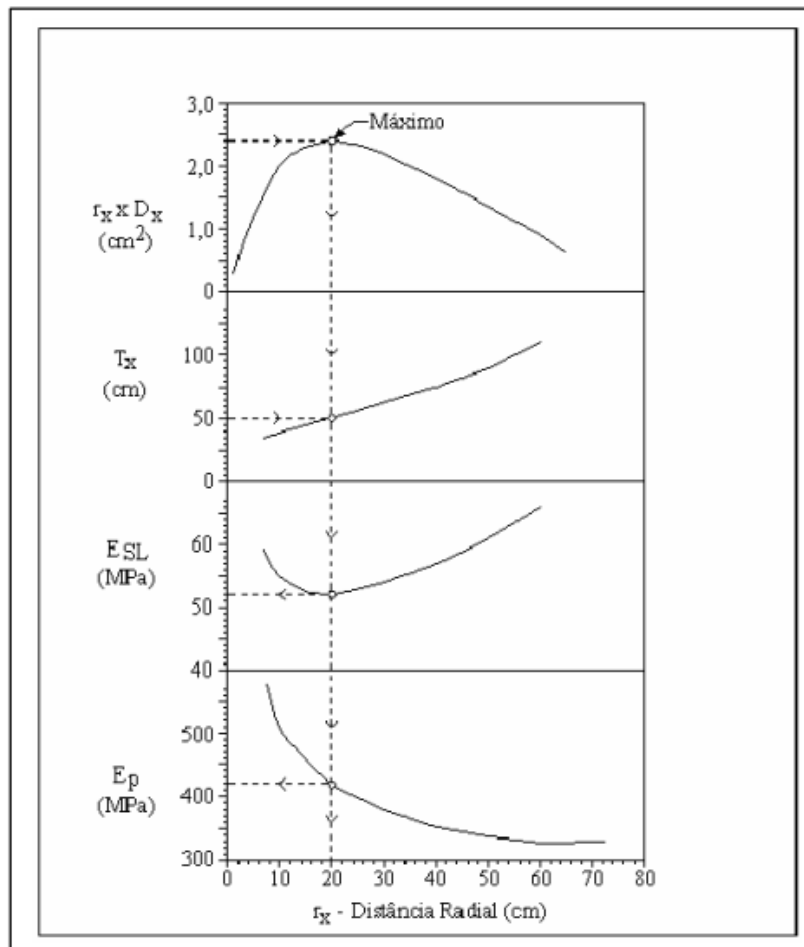
D_0 = Deflexão sob o eixo de aplicação de carga (cm);

r_x = Distância a partir do ponto de aplicação da carga até o ponto considerado (cm)

Conforme Nobrega (2003), Macêdo (2003) e Cavalcante (2005) a rotina de cálculo para os casos em que a espessura é conhecida ou não é apresentada a seguir:

Na primeiro caso, quando a espessura do pavimento é conhecida, basta entrar T_x no graficos T_x x r_x , E_p x r_x e E_{SL} , x r_x obtendo-se, instantaneamente, r_x , E_p e E_{SL} , respectivamente (figura 13). Quando a espessura não é conhecida, os parâmetros elásticos são determinados os em dois passos: é feita a análise dos pares de valores r_1 d_1 , r_2 d_2 , r_3 d_3 r_4 , d_4 , r_5 d_5 , r_6 d_6 , de modo a encontrar o máximo produto (r_x , d_x). O produto (r_x d_x) corresponde distância em relação a carga a partir da qual se tem influência apenas do subleito e deflexão oriunda do subleito, respectivamente Na sequência, entra-se com este par de valores nos gráficos (E_p x r_x), (E_{SL} , x r_x) e (T_x x r_x). Portanto, pode-se estimar parâmetros E_{SL} , E_p e T_x .

Figura 13– ($E_p \times r_x$); ($E_{SL} \times r_x$) e ($T_x \times r_x$)



(Fonte: Albernaz *apud* Cavalcante, 2005)

6. METODOLOGIA

6.1 A RODOVIA

O projeto de recuperação estrutural será realizado na BR-153, no trecho compreendido entre os km 490 no município de Terezópolis, em Goiás, e km 703,5 em Itumbiara, Minas Gerais. O trecho tem comprimento total de 214 km e é duplicado em toda sua extensão. Possui terceira faixa entre os km 552,160 e km 552,830, sentido norte e sul. Atualmente, o trecho está sob gestão de uma empresa concessionária vencedora de leilão federal. A figura 11 mostra a localização da rodovia no mapa.

Figura 14 - Mapa de localização



(Fonte: Concessionária, 2017)

6.2 ESTIMATIVA DO TRAFEGO

A elaboração do projeto de reabilitação estrutural inicia-se pelo estudo de tráfego da rodovia.

Foram cedidas planilhas com as estimativas do volume médio diário anual (VDMA) entre os anos de 2013 e 2045. As planilhas de volume de tráfego estavam divididas em 11 praças de pedágio, de P01 a P11, sendo que P01 inicia no marco zero da BR-060, em Brasília, sentido norte-sul e termina no km 906 próximo ao entroncamento da BR-262, sentido leste-oeste, em Minas Gerais.

A avaliação estrutural do pavimento foi realizada a partir da estimativa de volume médio diário anual entre os anos de 2013 a 2024. O período de projeto utilizado no dimensionamento do pavimento foi de 10 anos. período de projeto considerado foi de 10 anos com previsão de ano de abertura de tráfego em 2015, conforme pode ser visto na tabela 5.

Tabela 5 – Volume de tráfego

ST	Km i	Km f	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	VMD	
P01	A	0	9	19.926	21.037	20.746	22.516	24.277	26.050	27.794	29.564	31.752	33.536	35.243	36.875	
	B	9	31	13.204	13.937	13.748	14.916	16.087	17.256	18.412	19.584	21.041	22.220	23.345	24.431	
	C	0	60	12.862	13.576	13.393	14.534	15.666	16.810	17.941	19.084	20.489	21.646	22.743	23.802	
	D	60	94	13.468	14.163	14.004	15.201	16.391	17.596	18.789	19.983	21.473	22.687	23.854	24.974	
P02	E	445	490	22.848	23.305	23.488	25.570	27.673	29.764	31.855	33.935	36.587	38.830	41.023	43.160	331.885.808,41
	F	490	516	15.439	15.754	16.098	17.373	18.644	19.938	21.226	22.502	24.037	25.223	26.368	27.493	218.903.043,59
P03	G	516	555	17.438	17.790	18.092	19.581	21.082	22.589	24.093	25.586	27.425	28.898	30.327	31.718	249.390.031,52
	H	555	622	15.763	16.082	16.332	17.687	19.048	20.404	21.766	23.121	24.774	26.107	27.399	28.653	225.290.881,76
P04	I	622	683	20.052	20.788	21.835	23.784	25.694	27.647	29.585	31.496	33.911	35.610	37.270	38.789	305.620.104,57
	J	683	3	17.805	18.460	19.394	21.124	22.825	24.556	26.261	27.973	30.113	31.631	33.091	34.455	271.423.537,16
P05	K	3	34	22.181	23.002	24.165	26.326	28.426	30.597	32.728	34.861	37.520	39.414	41.232	42.926	338.194.325,01
	L	34	148	17.896	18.646	19.290	21.226	23.176	25.111	27.041	28.977	31.485	33.149	34.669	36.052	280.175.932,69
P06	M	148	210	17.088	17.812	18.427	20.273	22.133	23.984	25.831	27.683	30.085	31.698	33.169	34.526	267.809.382,69
	N	210	247	11.865	12.422	12.828	14.133	15.452	16.755	18.068	19.376	21.096	22.356	23.551	24.697	188.312.281,91
P07	O	353	369	19.277	20.214	20.512	22.438	24.366	26.277	28.215	30.146	32.546	34.703	36.797	38.856	294.857.624,15
	P	369	401	12.629	13.247	13.438	14.704	15.963	17.212	18.494	19.751	21.327	22.741	24.113	25.463	193.205.589,82
P08	Q	401	476	11.724	12.313	12.534	13.729	14.913	16.098	17.303	18.490	19.991	21.324	22.625	23.899	180.905.011,74
	R	476	541	8.817	9.261	9.598	10.561	11.520	12.490	13.458	14.421	15.659	16.742	17.822	18.864	141.135.614,39
P09	S	541	594	8.522	8.953	9.279	10.215	11.145	12.081	13.019	13.957	15.146	16.193	17.237	18.247	136.520.186,20
	T	594	629	9.263	9.640	10.093	11.137	12.194	13.241	14.275	15.325	16.689	17.861	18.992	20.088	149.895.398,16
P10	U	629	746	5.854	6.100	6.449	7.100	7.756	8.427	9.083	9.730	10.587	11.353	12.077	12.796	95.359.295,90
	V	746	821	3.868	4.023	4.252	4.698	5.118	5.570	5.993	6.422	6.996	7.498	7.985	8.442	62.972.889,73
P11	W	821	906	1.349	1.400	1.490	1.644	1.792	1.940	2.095	2.248	2.445	2.628	2.802	2.942	22.025.576,05

(Fonte: Concessionária, 2017)

Com os dados de projeção do volume de tráfego, calculou-se o número equivalente de operações de eixo-padrão, o número N, associado a cada praça de pedágio.

Algumas considerações sobre o cálculo do número N são oportunas:

- A equação 4 considera apenas veículos comerciais (caminhões e ônibus) como contribuintes na deterioração do pavimento, logo foi preciso estimar o volume de tráfego comercial da rodovia. No entanto, não se teve acesso aos dados de pesagens das praças de pedágio; então recomenda-se usar $n_{vc} = 0,2 \cdot VDMA_t$.

- b) Com relação a determinação dos fatores de veículo, a concessionária não disponibilizou os dados da composição da frota circulante e/ou pesagens do trecho da rodovia, logo não foi possível calcular os fatores de veículo. Portanto, adotou-se a sugestão de DNER (1981, p.14) para o caso de volume de tráfego pesado, $F_v = 5$.
- c) Fator direcional foi definido em função da faixa de veículos comerciais mais solicitada. No caso de pista dupla, adotou-se $F_d = 0,5$.
- d) Por fim, para o caso do fator distribuição de volume médio diário, F_{VMDA} , geralmente considera-se que a faixa de tráfego mais solicitada F_{VMDA} concentra 90% do volume diário médio no caso de pista dupla. Para a terceira faixa, esse percentual é de 70%.

6.3 LEVANTAMENTO DEFLECTOMÉTRICO

A concessionária realizou o levantamento deflectométrico com o uso do equipamento *Falling Weight Deflectometer* (FWD), conforme procedimentos descritos na DNER PRO-273/96. As bacias deflectométricas obtidas no ensaio não-destrutivo foram lidas por sete sensores instalados em uma barra nas posições 0, 20, 30, 45, 65, 90 e 120 cm em relação a placa metálica. Esses dados foram fornecidos em formato de planilha eletrônica pela concessionária.

Na tabela 6 são exibidos os resultados do levantamento no trecho do lado direito da terceira faixa entre os km 542,116 e m 542,830 e o raio de curvatura. Foi feita a conversão das medidas FWD em viga Benkelman por meio de uma das equações de correlação sugerida pelo Manual de Restauração do DNIT (2006). Tal conversão é necessária, pois a concepção dos métodos de restauração de pavimentos flexíveis são baseados nas medidas obtidas em viga Benkelman (BORGES, 2001).

$$D_{VB} = - 5,73 + 1,396 \cdot D_{FWD} \quad (14)$$

Tabela 6– Medidas de deflexão convertidas para medidas em viga Benkelmam

Marco km	Deflexões (0.01 mm)								Raio C. (m)
	D0	D20	D25	D30	D45	D65	D90	D120	
552,160	32	24	21	17	12	7	3	1	283
552,210	65	30	23	15	10	6	4	2	73
552,260	48	29	24	20	13	7	3	1	134
552,310	43	30	25	20	12	5	1	-1	174
552,360	34	26	22	17	11	4	1	-1	260
552,410	57	40	34	28	19	8	3	0	139
552,460	29	19	16	12	8	3	2	1	238
552,510	41	27	23	18	12	6	3	1	176
552,560	38	25	21	17	12	5	2	0	188
552,610	33	22	19	15	10	4	1	-1	212
552,660	36	26	22	18	13	7	4	2	221
552,710	37	27	23	20	14	8	4	2	236
552,760	26	19	17	14	10	6	3	0	332
552,810	30	21	18	15	11	6	3	2	260
552,830	43	26	23	19	14	9	5	2	154

(fonte: Autoria própria)

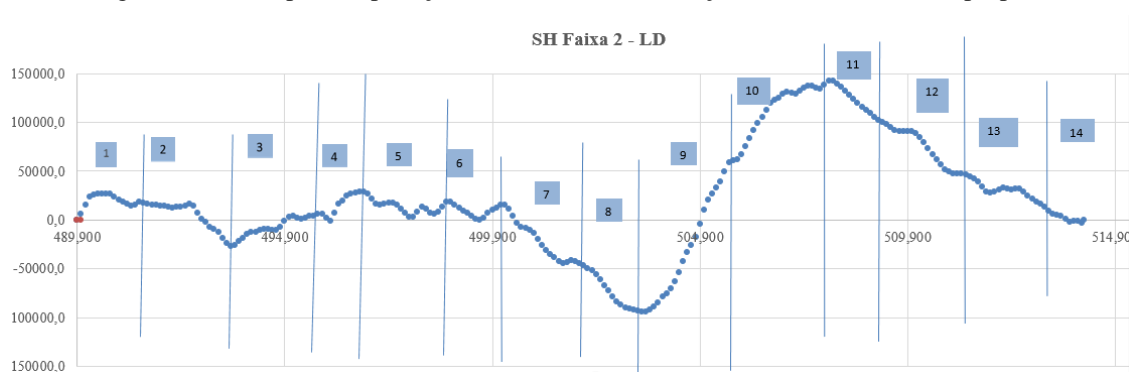
6.4 SEGMENTOS HOMOGÊNEOS

Com os dados obtidos no levantamento deflectométrico, o trecho foi subdividido em segmentos homogêneos de acordo com método das diferenças acumuladas ou soma dos desvios acumulados da AASHTO (1993). O parâmetro estrutural representativo utilizado para a caracterização de cada subtrecho considerado homogêneo foi a deflexão característica.

Foram geradas cerca de 320 segmentos homogêneos. Isso ocorreu devido às restrições da norma DNER PRO 11/79, que recomenda subtrechos de extensão mínima de 200 m e máxima de 2000 m.

Na figura 15 são ilustrados os resultados da divisão em subtrechos para a faixa 2 (km 489,900- km 514,16) do lado direito.

Figura 15 – Exemplo de aplicação do método das diferenças acumulada (Autoria própria)



6.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Fez-se a análise estatística do com o objetivo de encontrar um valor fosse que representativo da deformabilidade do pavimento, no caso a deflexão de projeto (D_p).

Para cada subtrecho do pavimento, calculou-se a média e desvio padrão. Sendo D_i os valores individuais de deflexões elásticas no trecho i , calculou-se a média aritmética, D , por meio sa expressão:

$$D_m = \frac{\sum D_i}{n} \quad (15)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (D_i - D)^2}{n-1}} \quad (16)$$

Onde:

D_i - valores individuais das deflexões elásticas no trecho i (0,01 mm);

D - média aritmética dos valores individuais no trecho i (0,01 mm);

n - número de valores individuais da amostra.

Na sequência calculou-se o coeficiente de variação (CV), expresso em porcentagem. Segundo a literatura, para uma amostra ser aceitável, o CV não deve ultrapassar os 30%. Contudo, esse critério tem limitações, pois é intrínseco de cada estudo ou processo sendo necessário conhecimento sobre o comportamento dos dados da amostra. Diante disso, no presente trabalho, optou-se por manter os subtrechos com CV superiores a 30%.

$$CV (\%) = \frac{\sigma}{D_m} \quad (17)$$

Com os valores amostrais da média e desvio padrão, calculou-se os limites de aceitação de cada subtrecho. Os valores individuais da amostra devem estar inseridos dentro desse intervalo, do contrário, deverão ser excluídos dessa amostra e os limites recalculados novamente.

$$[D \pm Z \cdot \sigma] \quad (18)$$

Onde:

Z - valor obtido na tabela 7

Tabela 7 - Valores de Z em função de n

n	z
3	1
4	1,5
5 - 6	2
7 - 19	2,5
≥ 20	3

(fonte: DNER, 1979)

A deflexão característica é calculada (D_c), é calculada como mostra a expressão.

$$D_c = D + \sigma \quad (19)$$

Por fim a deflexão de projeto é calculada (D_p), é calculada da seguinte forma.

$$D_p = D_c * F_s \quad (20)$$

Onde:

F_s - fator de correção sazonal.

O fator sazonal adiciona o efeito da umidade no valor das deflexões. Como, em geral, não é possível fazer o levantamento deflectométrico em épocas de chuva, adota-se os valores sugeridos na tabela abaixo. Em geral, costuma-se adotar $F_s = 1$.

Tabela 8 - Fator de correção sazonal

Natureza do Subleito	Fator de Correção Sazonal - F_s	
	Estação Seca	Estação Chuvosa
Arenoso e Permeável	1,10 - 1,30	1,00
Argiloso e Sensível à Umidade	1,20 - 1,40	1,00

(fonte: DNER, 1979)

Para que o pavimento trabalhe em regime elástico, sem a formação de trincas, as deflexões máximas devem ficar abaixo de valores admissível (D_{adm}). O cálculo para determinação da D_{adm} é apresentado a seguir:

$$\log [D_{adm}] = 3,01 - 0,176 \cdot \log(N) \quad (21)$$

Por fim, aplicou-se a árvore de decisões da norma para tomada de decisão para a definição de recuperação do trecho com problema estrutural. Dependendo do resultado da avaliação estrutural, a espessura de reforço pode ser calculada segundo critério deflectométrico ou de resistência. No critério deflectométrico, supõe-se que a estrutura trabalhe em regime elástico. Logo, a espessura de cada subtrecho é calculada de acordo com equação (22), sugerida por Celestino Ruiz:

$$h_{cb} = K \cdot \log \left(\frac{D_p}{D_{adm}} \right) \quad (22)$$

Onde:

h_{cb} : espessura do reforço do pavimento (cm);

K : fator de redução de deflexão; $K = 40$ para concreto betuminoso;

D_p : deflexão de projeto (0,01 mm);

D_{adm} : deflexão máxima admissível (0,01 mm);

Nos subtrechos onde a análise indicou a aplicação de critérios de resistência, o dimensionamento da camada de reforço do recapeamento foi feito utilizando as inequações do método empírico do extinto DNER. No critério de resistência, a altura do reforço é efetuada em função do ISC (Índice de Suporte Califórnia) do subleito e tráfego previsto. Como não se dispõe da espessura da camada de base e dos resultados dos ensaios ISC das amostra, foi definido que a base seria composta de uma camada de pré-misturada a quente (PMQ) de 4 cm assentada sobre uma camada de ISC_{sub-base} = 20%.

6.6 RETROANÁLISE DAS BACIAS

O método de Albernaz buscou determinar o módulo de resiliência *in situ* com base nas medidas de deflexões em viga Benkelman. No total foram retroanalizadas de 320 bacias deflectométricas, obtidas no levantamento deflectométrico entre os quilômetros km 489,90 e km 703,5.

Inicialmente os pares de valores (r_x d_x) das bacias deflectométricas obtidas em campo foram ajustadas por meio equação $\frac{D_0}{D_x} - 1 = k r_x^n$, onde D_0 é o valor da deflexão máxima, D_x deflexão medida a uma distância x em relação a carga e r_x é distância a partir do ponto de aplicação da carga até o ponto de interesse. Valores encontrados no lado esquerdo da igualdade foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados com objetivo de determinar os coeficientes k e r_x da equação, conforme figura abaixo.

Tabela 9 – Parâmetros obtidos pelo método de Albernaz 3ª faixa

		r_x (cm)	0	20	30	45	60	90	120
D_p	58	D_x [10^{-2} mm]	47,6	29,2	19,5	13,1	6,8	3,3	0,8
		$k r_x^n$		0,63	1,44	2,63	5,96	13,23	56,26
k	0,0004	$D_{x\text{alc}}$ (cm)	0,05	0,0322	0,0212	0,0112	0,0064	0,0027	0,0014
n	2,3645	E_p (kgf/cm ²)		5358,72	3874,91	3174,34	2966,21	2866,79	2858,62
T_x	23,6	E_{SL} (Kgf/cm ²)		1850,8	1874,6	2369,9	3093,3	4931,0	7098,0
		T_x (cm)		23,6	41,8	74,2	111,5	198,8	300,1

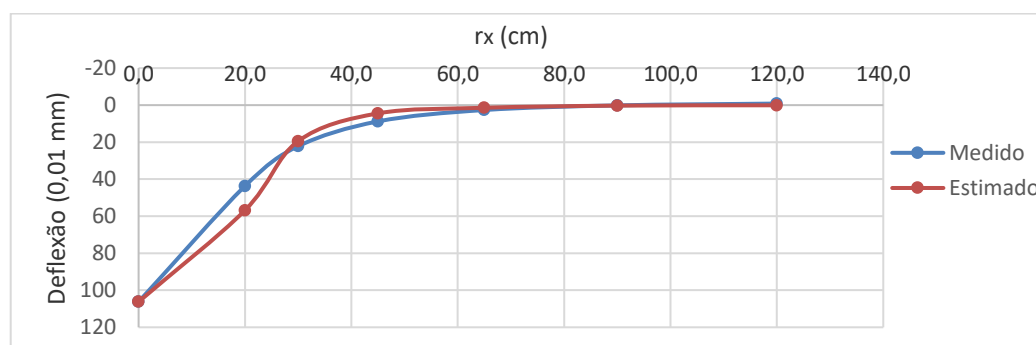
	0,0	20,0	30,0	45,0	65,0	90,0	120,0
Calculado	48	29	20	13	7	3	1
Estimado	48	32	21	11	6	3	1

(Fonte: Autoria Própria)

Após encontrados os valores das incógnitas, k e r_x^n , calculou-se analiticamente a nova bacia pela fórmula $\frac{D_0}{1+k r_x^n} = D_x$, onde D_x é o valor da deflexão corrigida.

A figura 16 ilustra as curvas da bacia de deformação pertencente ao trecho da 3ª faixa – lado direito, medida em campo e a bacia ajustada analiticamente. Esse procedimento foi repetido para todos os subtrechos.

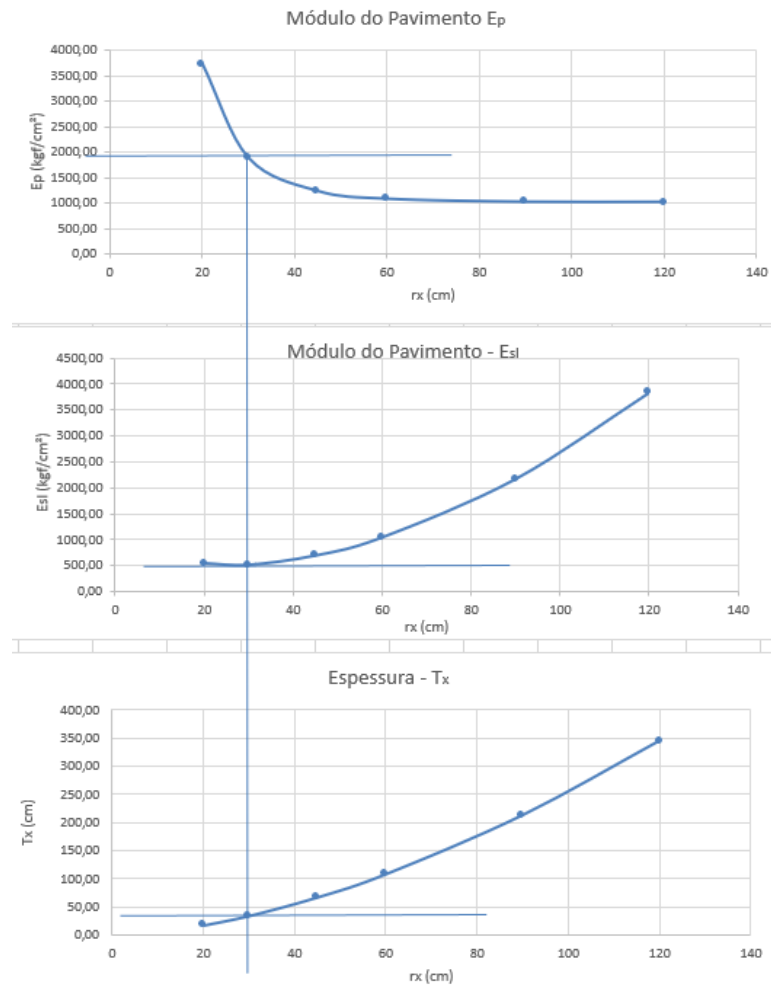
Figura 16 – Bacia medida x estimada 3ª faixa



(Fonte: Autoria Própria)

A partir das coordenadas de valores (r_x d_x) corrigidos, foram plotados os gráficos (E_p x r_x), (E_{SL} , x r_x) e (T_x x r_x) de modo a identificar graficamente o máximo produto (r_x d_x) e o mínimo módulo do subleito (E_{sl}). Desse modo foi possível estimar parâmetros E_{SL} , E_p e T_x .

Figura 17 – (E_p x r_x); (E_{SL} x r_x) e (T_x x r_x) 3ª faixa



(Fonte: Autoria própria)

7. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

7.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO

A caracterização do tráfego foi desenvolvida a partir dos dados do VDMA, fornecidas pela concessionária. Com base nos dados de fluxo de tráfego foram calculadas as solicitações de tráfego em termos de número de eixo-padrão “N” de 8,2 tf para pista mais solicitada da rodovia. Para este trabalho, como já citado, o ano de abertura, ano 1, de tráfego corresponde ao ano de 2015 e o horizonte de projeto adotado foi de 10 anos, ou seja, até 2024.

Na tabela 10 são apresentados os resultados das solicitações de tráfego no ano de 2024.

Tabela 10 – Cálculo do Número N

Km i	Km f	VMDA (2015-2024)	N _p (USACE)
490	516	218.903.043,59	9,85E+07
516	555	249.390.031,52	1,12E+08
542	543	249.390.031,52	8,73E+07
552	553	249.390.031,52	8,73E+07
555	622	225.290.881,76	1,01E+08
622	683	305.620.104,57	1,38E+08
683	3	271.423.537,16	1,22E+08

(Fonte: Autoria própria)

Verificou-se que o trecho mais solicitado no ano 10 está entre os km 622 e km 683 com $N_p = 1,38E+08$ pode ser considerado pesado.

7.2 COMPARATIVO DAS DEFLEXÕES NAS FAIXAS

Conforme dito na seção anterior, a concessionária realizou o levantamento deflectométrico do trecho com o uso do FWD. As deflexões medidas nas trilhas de rodas externas foram convertidas por meio da equação de correlação e plotadas em um deflectograma.

As figuras 18 e 19 exibem o comparativo entre deflexões máximas recuperáveis e a deflexão admissível em cada estaca, nas faixas direita e esquerda. A deflexão admissível é calculada em função do número de eixos padrão, o número N, este associado a cada praça de pedágio que permite compará-lo com as deflexões medidas.

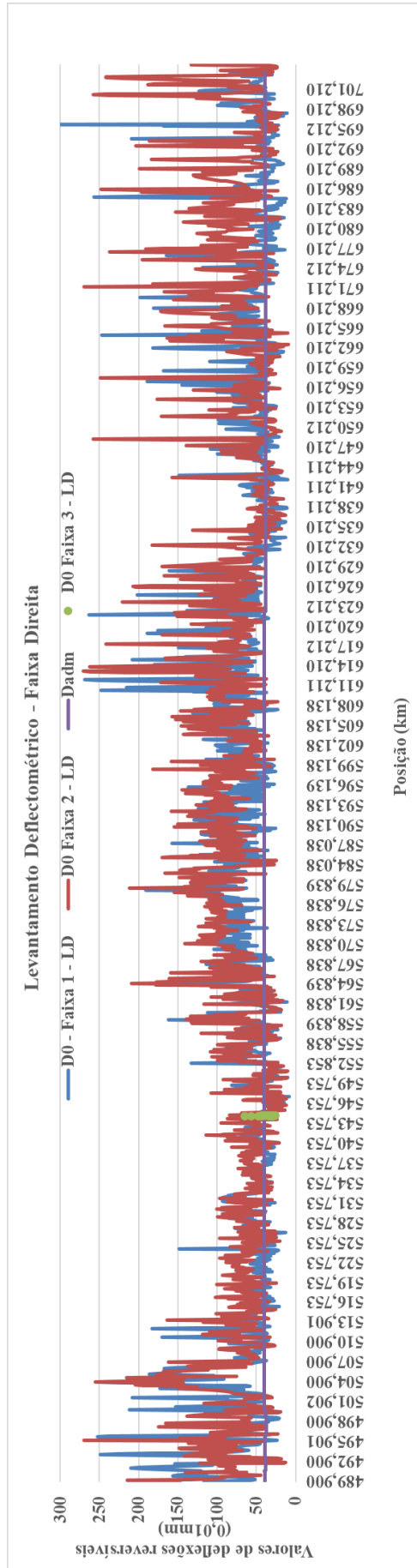


Figura 18 - Levantamento deflectométrico – Lado direito (Autoria própria)

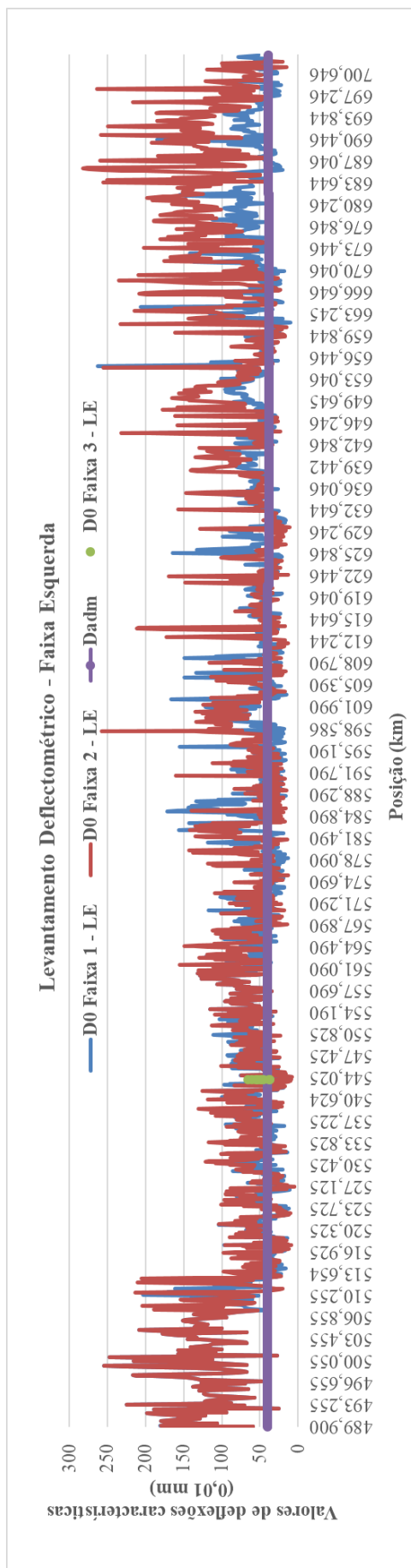


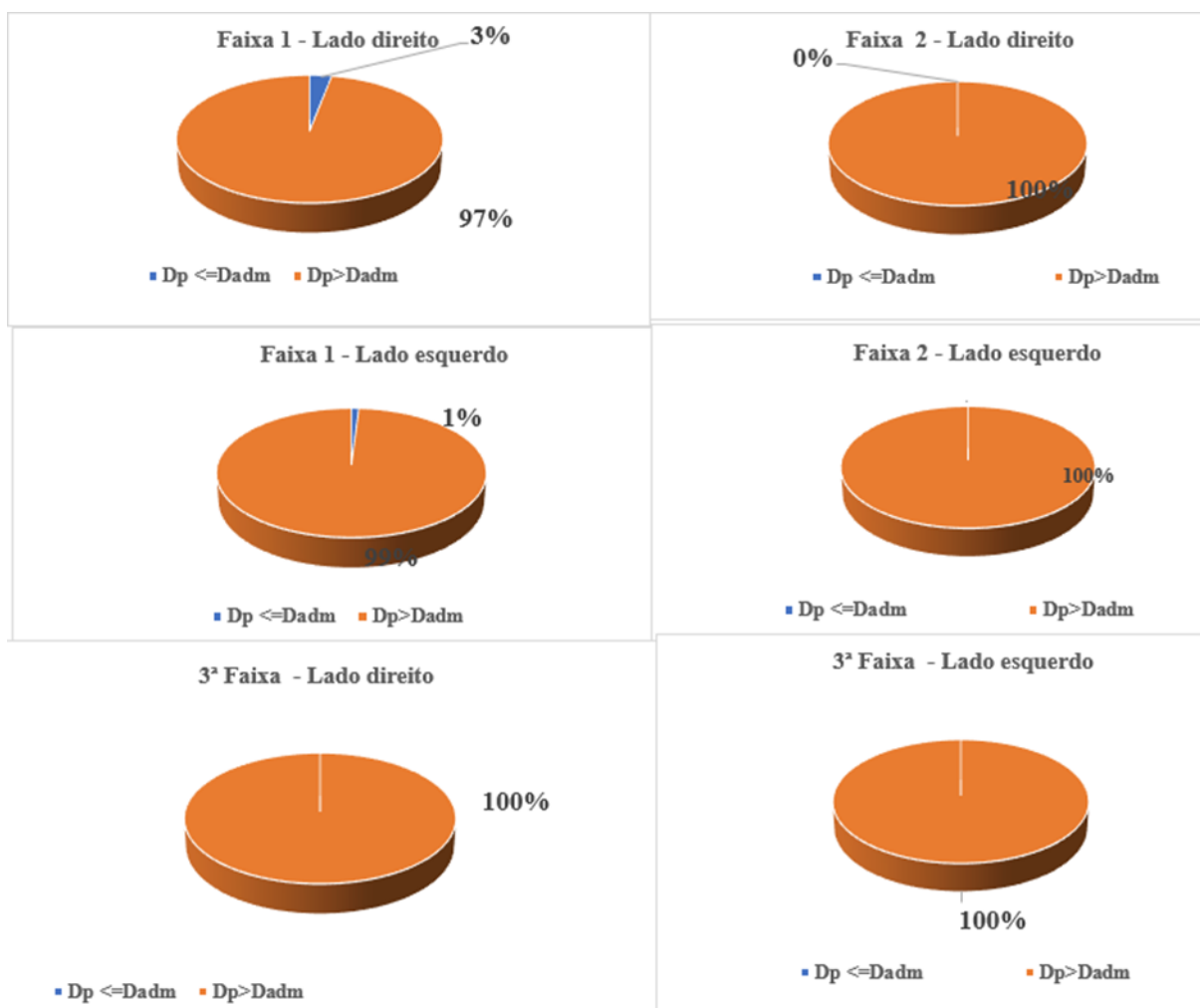
Figura 19 - Levantamento deflectométrico – Lado esquerdo (Autoria própria)

Verificou-se que quase a totalidade dos valores individuais das deflexões máximas supera o admissível ($D_{adm} = 37,2 \times 10^{-2}$ mm e $D_{adm} = 40,9 \times 10^{-2}$ mm), sugerindo que o pavimento está em condição crítica. No lado direito o maior valor registrado foi de 344×10^{-2} mm no quilômetro 695,910, aproximadamente 9 vezes superior a D_{adm} (39×10^{-2} mm). Na esquerda o pico registrado foi no km 686,745 cujo valor foi de 282×10^{-2} mm, cerca de 7 vezes superior a D_{adm} , também de 39×10^{-2} mm. Os menores valores de deflexões registrados foram 8×10^{-2} mm no quilômetro 547,783, na faixa direita, e 5×10^{-2} mm no quilômetro 527,243 na faixa esquerda.

Percebeu-se também alta variação espacial dos valores individuais das deflexões nas faixas direita e esquerda. A variação pode estar associada a erro de leitura do equipamento cujo valor é dependente da calibração dos geofones ou, ainda, da variação das espessuras (rigidez) das camadas ao longo da via. Torna-se necessário, portanto, a análise estatística das bacias deflectométricas que permitiria identificar se esses ou outros fatores em conjunto têm influência na variabilidade dos resultados apresentados. No entanto, devido ao tempo exíguo para a produção deste trabalho, não foi possível fazer a análise.

Na figura 20, é possível visualizar a distribuição percentual das deflexões por faixa. De acordo com os resultados analisados, verifica-se que nas quatro faixas quase a totalidade das deflexões está acima dos valores admissíveis (associado a cada subtrecho). No entanto, na faixa 1 - lado esquerdo, o subtrecho apresentou 1% abaixo da deflexão recomendável, enquanto do lado direito, 3%.

Figura 20 – Distribuição percentual das deflexões por faixa



(Fonte: Autoria própria)

7.3 DIMENSIONAMENTO DA CAMADA DE REFORÇO

A partir da caracterização do estado do pavimento, para cada subtrecho, foram calculadas a espessura de reforço H_{ref} do pavimento e adotadas medidas corretiva de restauração do mesmo.

Nas tabelas 11 a 20 estão resumidas as soluções de recapeamento estrutural por faixa e medidas corretivas sugeridas pela PRO 11/79.

Tabela 11 - Espessura necessária (km 489,90 – km 603,49) – Faixa 1 – Lado direito

SH	PONTO [KM]		Dp (0,01 mm)	Deflexão admissível (0,01 mm)	Raio de curvatura (R) (m)	Qualidade Estrutural	Necessidade de estudos complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas corretivas	Espessura de reforço (m)
	Km i	Km f								
1	489,90	490,00	96	40	59,0	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
2	490,70	492,60	175	40	27,0	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
3	492,70	493,60	81	40	94,7	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
4	493,70	494,20	229	40	14,3	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
5	494,30	496,30	80	40	112,5	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	14
6	496,40	496,80	252	40	14,0	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
7	496,90	498,90	79	40	41,0	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
8	499,000	500,40	58	40	168,0	Má	Não	Deflectométrico/Resistência	Reforço	12
9	500,50	502,40	138	40	38,0	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
10	502,50	504,40	130	40	54,0	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
11	504,50	506,50	191	40	33,6	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
12	506,60	507,50	155	40	36,0	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
13	507,60	509,60	69	40	128,0	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	9
14	509,70	511,60	55	40	157,0	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	6
15	511,70	513,70	114	40	76,0	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
16	513,8	514,158	63	40	46,0	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
17	514,203	515,45	83	40	115,0	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	13
18	515,553	517,55	46	40	150,0	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
19	517,653	519,65	53	40	138,7	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	5
20	519,753	521,75	49	40	147,7	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
21	521,853	523,85	54	40	140,0	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	6
22	523,553	525,85	75	40	96,7	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	17
23	526,053	528,05	54	40	96,7	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
24	528,153	530,15	69	40	107,7	Má	Sim	Deflectométrico	Reforço	10
25	530,253	532,25	82	40	61,5	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
26	532,354	534,35	79	40	81,5	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
27	534,453	536,45	53	40	130,1	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	5
28	536,553	538,55	50	40	125,4	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
29	538,653	540,65	46	40	186,4	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
30	540,753	542,75	65	40	111,3	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	9
31	542,853	544,85	61	40	123,5	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	8
32	544,953	546,953	36	40	193,3	Boa	Não		Apenas correções de superfície	0
33	547,053	548,553	31	40	199,3	Boa	Não		Apenas correções de superfície	0
34	548,653	550,653	71	40	20,2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
35	550,754	552,753	37	40	189,2	Boa	Não		Apenas correções de superfície	0
36	552,853	554,058	92	40	53,8	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
37	554,125	556,19	76	40	71,1	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
38	556,29	558,29	63	40	103,7	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	8
39	558,39	560,79	109	40	40,5	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
40	560,89	562,889	66	40	-99,4	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
41	562,99	565,59	71	40	77,3	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
42	565,69	567,39	112	40	44,5	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
43	567,49	569,489	96	40	55,7	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
44	569,59	571,589	84	40	63,7	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
45	571,689	572,79	93	40	59,6	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
45	572,89	574,89	92	40	53,9	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
47	574,99	576,49	86	40	64,4	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
48	576,99	578,49	121	40	44,1	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
49	578,59	580,59	120	40	43,1	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
50	580,69	582,589	103	40	51,5	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
51	582,69	584,69	88	40	63,9	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
52	584,79	586,79	108	40	57,2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
53	586,89	588,79	96	40	53,1	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
54	588,89	590,89	104,7	40	48,2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
55	590,99	593,09	103,3	40	53,2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
56	593,19	595,19	91,7	40	57,79	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
57	595,29	597,189	60,8	40	116,8	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7
58	597,29	599,29	78	40	74,14	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
59	597,29	601,39	95,7	40	52,42	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
60	601,49	603,49	88,8	40	56,65	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12

(Fonte: Autoria Própria)

Tabela 12 - Espessura necessária (km 603,59 – km 703,778) - Faixa 1 - Lado direito

SH	PONTO [KM]		Dp (0,01 mm)	Deflexão admissível (0,01 mm)	Raio de curvatura (R) (m)	Qualidade Estrutural	Necessidade de estudos complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas corretivas	Espessura de reforço (m)
	Km i	Km f								
61	603,59	605,59	110,1	40	46,56	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
62	605,69	607,69	102,5	40	30,64	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
63	607,79	610,104	99,2	40	48,06	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
64	610,31	612,3	205	40	17	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
65	612,4	614,4	111	40	62	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
66	614,5	616,5	126	40	45	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
67	616,6	618,3	92	40	83	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
68	618,4	620,4	133	40	43	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
69	620,5	622,5	141	40	71	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
70	622,6	624,6	90	38	78	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
71	624,7	626,7	107	38	85	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
72	626,8	628,8	99	38	73	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
73	628,9	630,9	77	38	97	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
74	631,0	633,0	58	38	182	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7
75	633,1	635,1	48	38	185	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
76	635,2	637,2	41	38	225	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
77	637,3	639,3	45	38	183	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
78	639,4	641,4	57	38	146	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7
79	641,5	643,5	78	38	65	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
80	643,6	645,6	47	38	181	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
81	645,7	647,7	77	38	77	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
82	647,8	649,8	55	38	-102	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
83	649,9	651,9	83	38	32	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
84	652,0	654,0	59	38	-286	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
85	654,1	656,1	77	38	-260	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
86	656,2	658,2	110	38	59	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
87	658,3	660,3	94	38	66	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
88	660,4	662,4	103	38	41	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
89	662,5	664,5	125	38	73	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
90	664,6	666,6	86	38	79	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
91	666,71	668,71	108	38	46	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
92	668,81	670,81	108	38	75	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
93	670,91	672,91	71	38	119	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	11
94	673,01	675,011	71	38	12	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	17
95	675,11	677,11	90	38	106	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	15
96	677,21	679,211	57	38	221	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7
97	679,31	681,31	43	38	171	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
98	681,412	683,41	50	38	22	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
99	683,51	685,51	130	39	37	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
100	685,61	687,611	69	39	31	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
101	687,71	689,71	45	39	211	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
102	689,811	691,81	43	39	255	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
103	691,91	693,91	101	39	98	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
104	694,01	696,012	123	39	129	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	20
105	696,11	698,11	49	39	88	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
106	698,21	700,21	78	39	127	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12
107	700,31	702,31	87	39	-22	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
108	702,41	703,778	63	39	54	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12

(Fonte: Autoria Própria)

Tabela 13 - Espessura necessária (km 489,90– km 597,49) – Faixa 2– Lado direito

SH	PONTO [KM]		Dp (0,01 mm)	Deflexão admissível	Raio de curvatura (R) (m)	Qualidade Estrutural	Necessidade de estudos complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas corretivas	Espessura de reforço (m)
	Km i	Km f								
1	489,90	491,90	122	40	47	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
2	492,00	493,60	102	40	-1194	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
3	493,70	495,70	133	40	46	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
4	495,80	496,80	125	40	63	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
5	496,90	498,90	125	40	-3	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
6	499,00	500,20	119	40	46	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
7	500,30	502,30	84	40	66	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
8	502,40	503,60	84	40	79	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
9	503,70	505,70	204	40	33	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
10	505,80	507,10	173	40	39	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
11	507,20	509,20	101	40	72	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
12	509,30	511,30	87	40	76	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
13	511,40	513,40	95	40	69	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
14	513,50	514,16	123	40	56	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
15	514,20	515,50	85	39	76	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
16	515,60	517,60	78	39	76	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
17	517,70	519,70	82	39	75	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
18	519,80	521,80	78	39	84	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
19	521,90	523,90	85	39	71	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
20	524,00	526,00	67	39	81	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
21	526,10	528,10	71	39	90	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
22	528,20	530,20	83	39	78	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
23	530,30	532,30	81	39	73	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
24	532,40	534,40	74	39	88	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
25	534,50	536,50	59	39	98	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
26	536,60	538,60	65	39	108	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	9
27	538,70	540,70	66	39	117	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	9
28	540,80	542,80	87	39	62	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
29	542,90	544,90	70	39	92	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
30	545,00	547,00	55	39	103	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	6
31	547,10	549,10	67	39	129	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	9
32	549,20	551,20	64	39	50	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
33	551,30	553,30	57	39	113	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7
34	553,40	554,12	95	39	71	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
35	554,29	556,29	92	40	53	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
36	556,39	558,39	74	40	79	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
37	558,49	560,49	118	40	31	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
38	560,56	562,59	40	40	171	Boa	Não		Apenas correções de superfície	0
39	562,69	564,69	98	40	62	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
40	564,79	566,79	154	40	27	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
41	566,89	568,89	104	40	47	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
42	568,99	570,79	94	40	54	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
43	570,89	572,89	118	40	41	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
44	572,99	574,99	111	40	49	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
45	575,09	576,59	107	40	51	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
46	576,69	578,59	120	40	43	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
47	578,69	580,69	151	40	29	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
48	580,79	582,69	146	40	22	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
49	582,79	584,79	120	40	32	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
50	584,89	586,89	104	40	46	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
51	586,99	588,99	114	40	46	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
52	589,09	591,09	133	40	35	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
53	591,19	593,19	109	40	45	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
54	593,29	595,29	127	40	39	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
55	595,39	597,39	118	40	43	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12

(Fonte: Autoria Própria)

Tabela 14 - Espessura necessária (km 597, 49– km 703,78) – Faixa 2– Lado direito

SH	PONTO [KM]		Dp (0,01 mm)	Deflexão admissível	Raio de curvatura (R) (m)	Qualidade Estrutural	Necessidade de estudos complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas corretivas	Espessura de reforço (m)
	Km i	Km f								
56	597,49	599,49	104	40	45	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
57	599,59	601,59	61	40	86	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
58	601,69	603,69	116	40	40	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
59	603,79	605,79	134	40	36	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
60	605,89	607,89	101	40	44	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
61	607,99	610,11	112	40	40	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
62	610,31	612,31	182	40	29	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
63	612,41	614,41	182	40	12	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
64	614,51	616,51	136	40	42	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
65	616,61	618,31	112	40	38	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
66	618,41	620,41	99	40	61	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
67	620,51	622,51	132	40	22	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
68	622,61	624,61	131	38	40	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
69	624,71	626,71	160	38	23	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
70	626,81	628,81	126	38	35	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
71	628,91	630,91	74	38	75	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
72	631,01	633,01	106	38	80	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
73	633,11	635,11	77	38	84	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
74	635,21	637,21	51	38	100	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	5
75	637,31	639,31	47	38	138	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
76	639,41	641,41	61	38	145	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	8
77	641,51	643,51	79	38	45	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
78	643,61	645,61	79	38	76	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
79	645,71	647,71	132	38	64	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
80	647,81	649,81	45	38	137	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
81	649,91	651,91	106	38	75	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
82	652,01	654,01	96	38	93	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
83	654,11	656,11	83	38	-450	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
84	656,21	658,21	121	38	72	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
85	658,31	660,31	60	38	108	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	8
86	660,41	662,41	105	38	-2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
87	662,51	664,51	130	38	-364	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
88	664,61	666,61	137	38	2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
89	666,71	668,71	121	38	-84	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
90	668,81	670,81	169	38	23	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
91	670,91	672,91	89	38	57	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
92	673,01	675,01	110	38	28	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
93	675,11	677,11	155	38	24	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
94	677,21	679,21	107	38	100	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	18
95	679,31	681,31	111	38	-254	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
96	681,41	683,41	119	38	69	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
97	683,51	685,51	148	39	12	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
98	685,61	687,61	116	39	68	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
99	687,71	689,71	132	39	16	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
100	689,81	691,81	103	39	100	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12
101	691,91	693,91	105	39	50	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
102	694,01	696,01	44	39	160	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
103	696,11	698,11	58	39	154	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7
104	698,21	700,21	172	39	10	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
105	700,31	702,31	193	39	6	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
106	702,41	703,78	82	39	-24	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12

(Fonte: Autoria Própria)

Tabela 15: Espessura necessária (km 489,90 – km 607,69) – Faixa 1 – Lado esquerdo

SH	PONTO [KM]		Dp (0,01 mm)	Deflexão admissível (0,01 mm)	Raio de curvatura (R) (m)	Qualidade Estrutural	Necessidade de estudos complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas corretivas	Espessura de reforço (m)
	Km i	Km f								
1	489,90	491,86	176	40	56,7	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
2	491,96	493,96	171	40	-61,6	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
3	494,06	495,95	127	40	82,3	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
4	496,06	498,06	174	40	83,9	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
5	498,16	500,16	180	40	101,3	Má	Sim	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução	26
6	500,26	502,26	172	40	38,1	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
7	502,36	504,36	153	40	75,2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
8	504,455	505,95	199	40	71,8	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
9	506,06	507,06	148	40	84,5	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
10	507,16	509,16	109	40	86,6	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
11	509,25	510,36	110	40	65,7	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
12	510,46	511,56	182	40	147,8	Má	Sim	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução	21
13	511,65	513,65	94	40	91,4	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
14	513,76	514,16	49	40	116,6	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
15	514,217	515,43	32	40	243,0	Boa	Não	-	Apenas correções de superfície	0
16	515,525	517,53	50	39	172,6	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
17	517,625	519,63	53	39	216,2	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	5
18	519,725	521,73	66	39	124,6	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	9
19	521,825	523,83	49	39	217,8	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
20	523,925	525,93	65	39	104,5	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	9
21	526,025	528,03	49	39	104,5	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
22	528,125	530,03	54	39	100,8	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	6
23	530,125	532,13	75	39	66,2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
24	532,225	534,23	54	39	126,0	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	6
25	534,325	536,33	55	39	117,7	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	6
26	536,425	538,42	76	39	71,5	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
27	538,525	540,53	61	39	120,0	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	8
28	540,624	542,63	85	39	61,7	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
29	542,725	544,73	86	39	135,2	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	8
30	544,825	546,825	82	39	79,2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
31	546,925	548,923	79	39	76	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
32	549,025	551,025	86,9	39	72,8	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
33	551,125	553,125	83,7	39	73,2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
34	553,225	553,975	76,3	39	100,6	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12
35	554,1	556,2	90	40	54	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
36	556,3	558,3	81	40	64	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
37	558,4	560,8	117	40	44	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
38	560,9	562,9	62	40	100	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
39	563,0	565,3	62	40	97	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
40	565,4	567,4	71	40	77	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
41	567,5	569,5	49	40	94	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
42	569,6	571,6	77	40	79	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
43	571,7	572,7	95	40	59	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
44	572,9	574,9	39	40	193	Boa	Não	-	Apenas correções superficiais	0
45	575,0	576,5	43	40	172	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
46	576,6	578,5	48	40	172	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
47	578,6	580,6	48	40	108	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
48	580,7	582,6	72	40	88	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
49	582,7	584,7	114	40	41	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
50	584,8	586,8	144	40	33	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
51	586,9	588,8	95	40	63	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
52	588,9	590,9	43	40	158	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
53	591,0	593,1	60	40	129	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7
54	593,2	595,2	49	40	161	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
55	595,3	597,2	45	40	172	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
56	597,29	599,29	64	40	115	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
57	599,39	601,39	101	40	61	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
58	601,49	603,49	112	40	40	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
59	603,59	605,59	49	40	105	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
60	605,69	607,69	93	40	70	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12

(Fonte: Autoria Própria).

Tabela 16 - Espessura necessária (km 607,99 – km 703,78) – Faixa 1– Lado esquerdo

SH	PONTO [KM]		Dp (0,01 mm)	Deflexão admissível (0,01 mm)	Raio de curvatura (R) (m)	Qualidade Estrutural	Necessidade de estudos complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas corretivas	Espessura de reforço (m)
	Km i	Km f								
61	607,79	610,79	84	40	93	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
62	610,28	612,2	46	40	127	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
63	612,3	614,3	55	40	106	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	6
64	614,4	616,4	52	40	112	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
65	616,5	618,2	62	40	61	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
66	618,3	620,3	56	40	57	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	6
67	620,4	622,4	61	40	115	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7
68	622,5	624,5	48	38	136	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
69	624,6	626,6	97	38	91	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
70	626,7	628,7	77	38	85	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
71	628,8	630,8	78	38	-7	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
72	630,9	632,9	41	38	165	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
73	633,0	635,0	63	38	101	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	9
74	635,1	637,1	72	38	83	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
75	637,2	639,2	61	38	106	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	8
76	639,3	641,3	73	38	94	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
77	641,4	643,4	93	38	53	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
78	643,5	645,5	100	38	68	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
79	645,645	647,6	54	38	98	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
80	647,7	649,7	64	38	94	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
81	649,8	651,8	88	38	87	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
82	651,9	653,9	91	38	70	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
83	654,0	656,0	138	38	11	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
84	656,1	658,1	50	38	-8	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
85	658,2	660,2	56	38	102	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7
86	660,3	662,3	50	38	111	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	5
87	662,4	664,4	116	38	53	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	16
88	664,5	666,5	62	38	101	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	9
89	666,646	668,646	79	38	65	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
90	668,746	670,746	87	38	19	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
91	670,846	672,846	104	38	67	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
92	672,946	674,946	66	38	94	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
93	675,045	677,046	86	38	95	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
94	677,146	679,146	88	38	49	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
95	679,245	681,246	87	38	97	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
96	681,346	683,346	115	38	64	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
97	683,446	685,444	80	39	102	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12
98	685,546	687,546	44	39	-1485	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
99	687,646	689,646	51	39	126	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	5
100	689,746	691,746	123	39	35	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
101	691,846	693,844	79	39	85	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
102	693,946	695,946	80	39	83	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
103	696,046	698,046	53	39	153	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	5
104	698,146	700,146	63	39	44	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
105	700,246	702,244	66	39	78	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
106	702,346	703,746	66	39	98	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12

(Fonte: Autoria Própria).

Tabela 17: Espessura necessária (km 489,900 – km 607,69) – Faixa 2– Lado esquerdo

SH	PONTO [KM]		Dp (0,01 mm)	Deflexão admissível (0,01 mm)	Raio de curvatura (R) (m)	Qualidade Estrutural	Necessidade de estudos complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas corretivas	Espessura de reforço (m)
	Km i	Km f								
1	489,90	491,86	176	40	34,9	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
2	491,96	493,96	169	40	17,2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
3	494,06	496,06	128	40	51,1	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
4	496,16	498,16	173	40	28,0	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
5	498,26	500,26	184	40	29,0	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
6	500,36	502,36	173	40	-13,5	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
7	502,46	504,46	152	40	36,2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
8	504,56	506,56	165	40	36,2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
9	506,66	508,66	142	40	33,3	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
10	508,76	510,55	129	40	45,0	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
11	510,66	512,66	147	40	55,3	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
12	512,76	514,16	93	40	12,2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
13	514,216	515,44	69	40	76	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
14	515,543	517,54	72	40	63	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
15	517,643	519,64	70	40	96	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
16	519,743	521,74	82	39	83	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
17	521,843	523,84	61	39	124	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	8
18	523,943	525,94	89	39	54	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
19	526,043	528,04	76	39	54	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
20	528,142	530,14	66	39	81	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
21	530,243	532,24	97	39	58	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
22	532,343	534,34	87	39	75	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
23	534,442	536,44	73	39	71	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
24	536,543	538,54	86	39	69	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
25	538,643	539,74	115	39	33	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
26	539,843	540,64	66	39	136	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	9
27	540,742	542,74	98	39	121	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	16
28	542,843	544,843	50	39	166	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
29	544,943	545,943	54	39	67	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
30	546,043	546,943	85	39	90	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
31	547,043	549,043	72	39	91	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
32	549,143	551,143	75	39	77	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
33	551,243	553,343	87	39	77	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
34	553,442	554,143	87	39	86,2	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
35	554,1	556,1	90	40	56	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
36	556,2	558,2	81	40	63	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
37	558,3	560,7	117	40	46	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
38	560,8	562,8	111	40	55	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
39	562,9	565,2	118	40	43	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
40	565,3	567,3	93	40	51	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
41	567,4	569,4	62	40	89	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
42	569,5	571,5	73	40	58	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
43	571,6	572,6	63	40	95	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
44	572,8	574,8	72	40	97	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
45	574,9	576,4	49	40	97	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
46	576,5	578,4	86	40	81	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
47	578,5	581,0	96	40	46	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
48	581,1	583,0	101	40	34	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
49	583,1	585,1	119	40	33	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
50	585,2	587,2	56	40	123	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	6
51	587,3	589,3	56	40	148	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
52	589,4	591,4	53	40	155	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	5
53	591,5	593,5	65	40	118	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	8
54	593,6	595,6	71	40	95	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	10
55	595,7	597,7	75	40	63	Má	Sim	Resistencia	Reforço ou Reconstrução	12
56	597,84	599,84	83	40	49	Má	Sim	Resistencia	Reforço ou Reconstrução	12
57	599,94	601,94	123	40	43	Má	Sim	Resistencia	Reforço ou Reconstrução	12
58	602,04	604,04	103	40	50	Má	Sim	Resistencia	Reforço ou Reconstrução	12
59	604,14	606,14	52	40	124	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	5
60	606,24	608,24	87	40	47	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12

(Fonte: Autoria Própria)

Tabela 18 - Espessura necessária (km 607,79 – km 703,746) – Faixa 2 - Lado esquerdo .

SH	PONTO [KM]		Dp (0,01 mm)	Deflexão admissível (0,01 mm)	Raio de curvatura (R) (m)	Qualidade Estrutural	Necessidade de estudos complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas corretivas	Espessura de reforço (m)
	Km i	Km f								
61	608,34	610,04	79	40	89	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
62	610,28	612,2	44	40	97	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
63	612,3	614,3	90	40	80	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
64	612,3	614,3	124	40	61	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
65	616,5	618,2	59	40	72	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
66	618,3	620,3	58	40	96	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
67	620,4	622,4	81	40	99	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
68	622,5	624,5	91	38	89	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
69	624,6	626,6	72	38	132	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	11
70	626,7	628,7	48	38	207	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
71	628,8	630,8	62	38	121	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	8
72	630,9	632,9	40	38	154	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4
73	633,0	635,0	87	38	99	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
74	635,1	637,1	95	38	83	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
75	637,2	639,2	61	38	133	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12
76	639,3	641,3	120	38	47	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
77	641,4	643,4	123	38	-6	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
78	643,5	645,5	123	38	87	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
79	645,645	647,6	93	38	36	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
80	647,7	649,7	128	38	15	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
81	649,8	651,8	154	38	40	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
82	651,9	653,9	132	38	45	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
83	654,0	656,0	131	38	66	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
84	656,1	658,1	62	38	147	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	9
85	658,2	660,2	66	38	85	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
86	660,3	662,3	76	38	99	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
87	662,4	664,4	153	38	27	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
88	664,5	666,5	134	38	60	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
89	666,645	668,645	150	38	-7	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
90	668,744	670,745	173	38	-61	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
91	670,845	672,845	127	38	54	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
92	672,945	674,945	160	38	31	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
93	675,045	677,045	153	38	27	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
94	677,145	679,145	160	38	38	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
95	679,245	681,245	162	38	36	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
96	681,345	683,345	177	38	37	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
97	683,445	685,445	189	39	-11	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
98	685,545	687,545	232	39	8	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
99	687,645	689,645	170	39	20	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
100	689,745	691,744	161	39	17	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
101	691,845	693,845	197	39	30	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
102	693,945	695,945	170	39	26	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
103	696,045	698,045	142	39	41	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
104	698,145	700,145	142	39	39	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
105	700,245	702,245	98	39	51	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12
106	702,345	703,745	81	39	22	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	12

(Fonte: Autoria Própria)

Tabela 19 – Espessura necessária (km 552,160 – km 552,83) - 3ª Faixa - Lado direito

SH	PONTO [KM]		Dp (0,01 mm)	Deflexão admissível (0,01 mm)	Raio de curvatura (R) (m)	Qualidade Estrutural	Necessidade de estudos complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas corretivas	Espessura de reforço (m)
	Km i	Km f								
1	552,160	552,36	56	40	107	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	6
2	552,410	552,83	45	40	163	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	4

(Fonte: Autoria Própria)

Tabela 20 – Espessura necessária (km 542,116 – km 542,81) - 3ª Faixa – Lado esquerdo

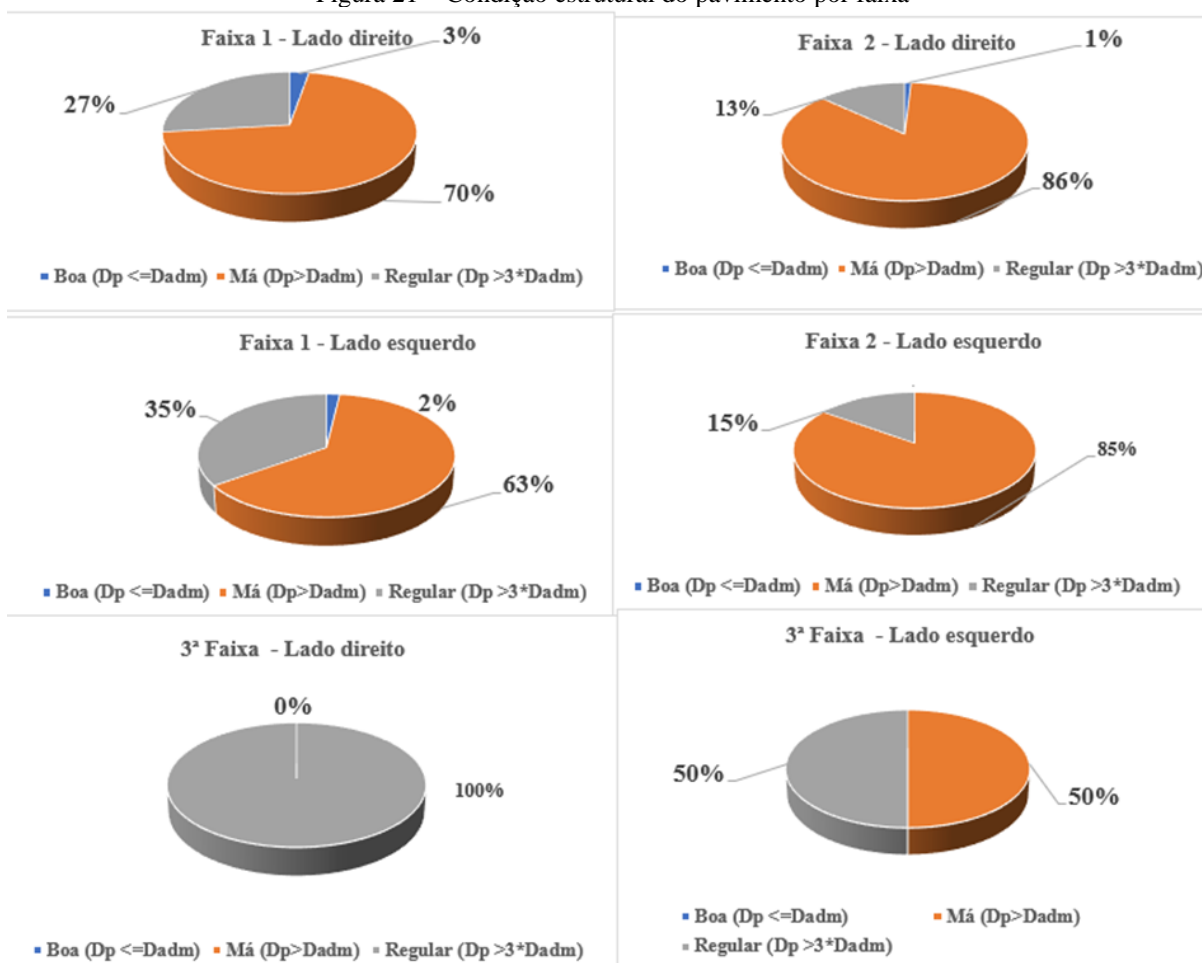
SH	PONTO [KM]		Dp (0,01 mm)	Deflexão admissível (0,01 mm)	Raio de curvatura (R) (m)	Qualidade Estrutural	Necessidade de estudos complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas corretivas	Espessura de reforço (m)
	Km i	Km f								
1	542,116	542,57	59	40	97	Má	Sim	Resistência	Reforço ou reconstrução	17
2	542,652	542,81	58	40	114	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	6

(Fonte: Autoria Própria)

Quanto à condição estrutural do pavimento, os subtrechos apresentaram má qualidade estrutural . As deflexões de projeto, na maioria dos segmentos homogêneos, ultrapassaram as deflexões admissíveis ($D_{adm} = 37,2 \times 10^{-2}$ mm e $D_{adm} = 40,9 \times 10^{-2}$ mm) e o raio de curvatura ficou abaixo do mínimo, ou seja, um indicativo de que não há uma boa distribuição de tensões no pavimento.

Os resultados da condição estrutural de cada segmento foram compilados por faixa e estão ilustrados em forma de gráfico de pizza nas figura 21.

Figura 21 – Condição estrutural do pavimento por faixa



(Fonte: Autoria Própria)

Constatou-se que, na faixa 2 do lado direito, 86% dos subtrechos apresentam má qualidade ao rolamento, percentual semelhante ao do lado esquerdo, 85%. Na faixa 1 do lado direito e do esquerdo, tem-se 70% e 63%, respectivamente, de subtrechos degradados. A terceira faixa apresentou um segmento com 100% regular do lado direito e 50% do lado esquerdo.

As espessuras de recapeamento asfáltico obtidas no dimensionamento possuem valores elevados, que variam entre 12 e 26 cm.

Em suma, conclui-se o trecho avaliado está em estado avançado de degeneração e, portanto, são necessárias intervenções corretivas para restaurar seu desempenho estrutural.

De acordo com os resultados do dimensionamento, a altura de reforço necessária calculada para a pista era 12 cm para a maioria dos segmentos homogêneos do pavimento em estudo. No entanto, entendeu-se como melhor solução em termos de custo e desempenho desmembrar a camada e adotar uma solução mista de:

- a) Camada superior de revestimento de CAUQ dosado na faixa “C” de espessura de 7 cm;
- b) Camada inferior de revestimento (binder) de Pré - Misturado a Quente (PMQ) de espessura de 6 cm.

Para os segmentos homogêneos SH 22, SH 94 e SH 95 da faixa 1 – lado direito, sugere-se uma camada de binder de 6 cm com uma camada de CAUQ de 12 cm.

Para o segmento homogêneo SH 5 da faixa 1 – Lado esquerdo, recomenda-se uma camada de binder de 10 cm com uma camada de revestimento de CAUQ de 12 cm.

Por fim, no caso de espessuras de reforço inferiores a 10 cm, sugere-se reforçar somente com concreto asfáltico na faixa “C”.

Outra alternativa de recuperação estrutural é a reciclagem do pavimento com adição de cimento. No entanto, no projeto de reciclagem é imprescindível planejar ensaio de sondagens a cada 400 m para se conhecer a espessura da camada.

7.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS MÓDULOS RETROANALISADOS

Nos gráficos 22 a 25 são apresentados os módulos do pavimento (E_p) e do subleito (E_{sl}) em cada segmento homogêneo por faixa.

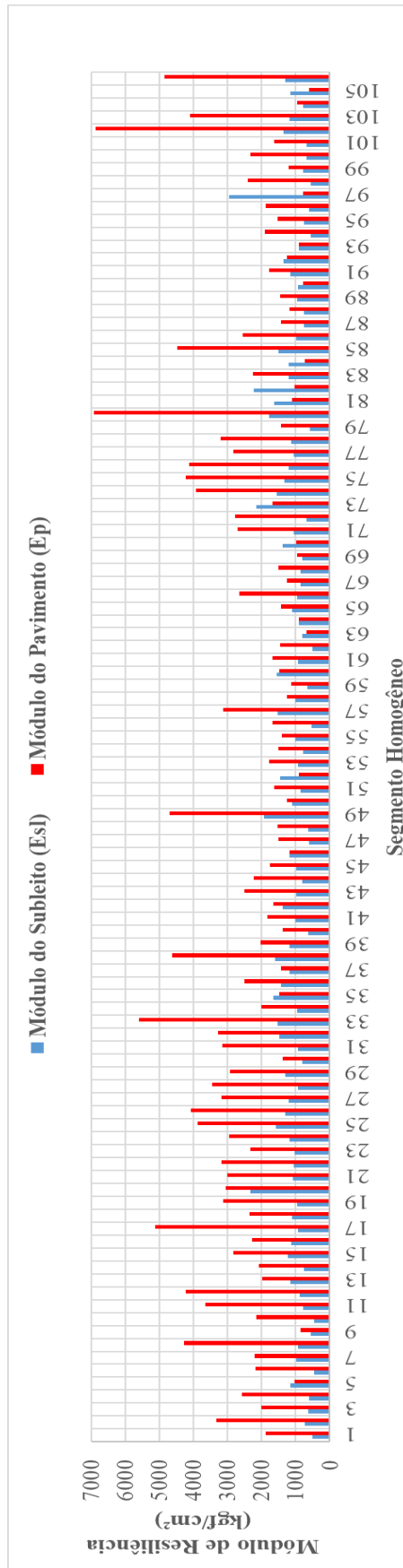


Figura 23 - Módulos retroanalísados – Faixa 2 – Lado direito (Fonte: Autoria própria)

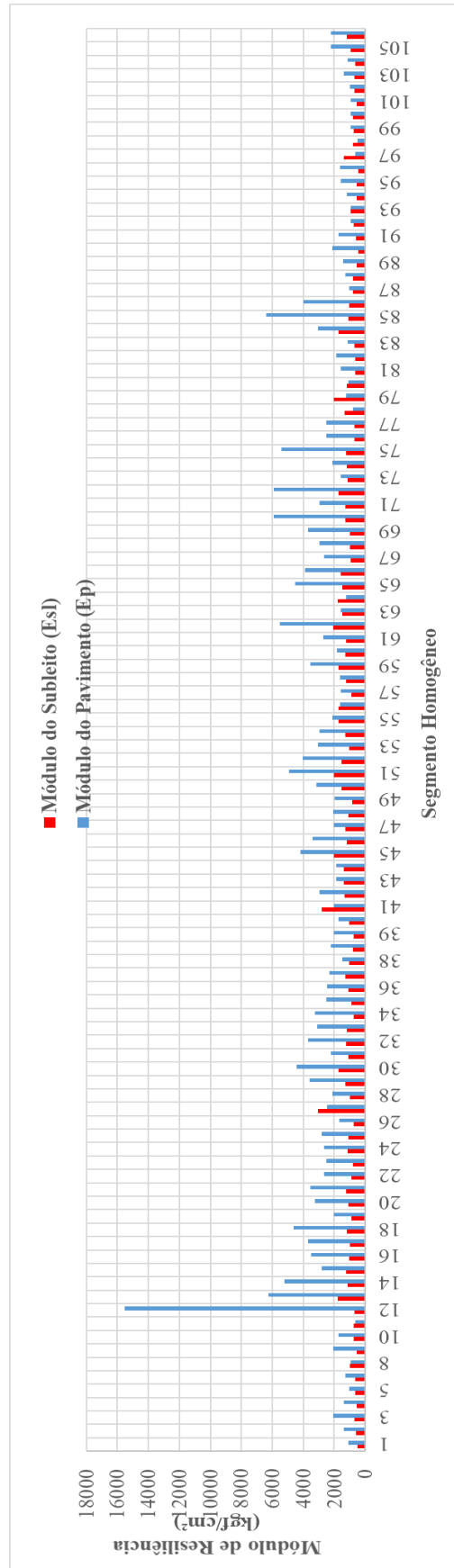


Figura 24 - Módulos retroanalizados – Faixa 1 - Lado esquerdo (Fonte: Autoria própria)

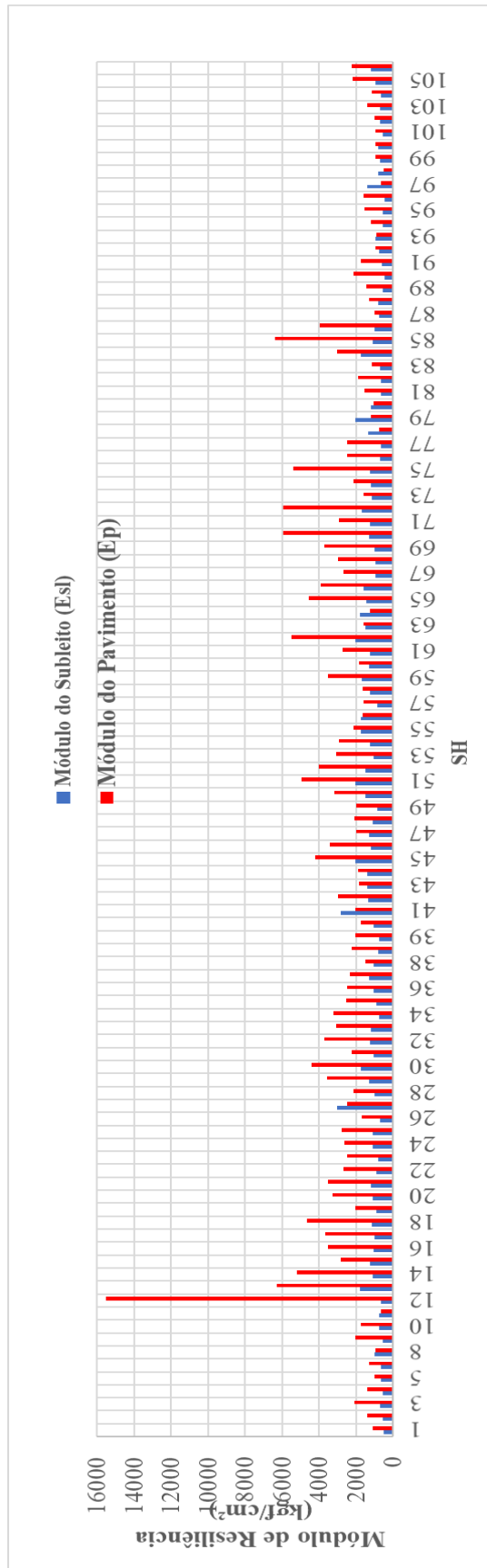


Figura 25 - Módulos retroanalisados – Faixa 2 – lado esquerdo (Fonte: Autoria própria)

Nas tabelas 21 e 22 são apresentadas a análise estatística dos módulos retroanalisados das camadas do pavimento e subleito, nos lados direito e esquerdo das três faixas de modo a obter as informações do comportamento resiliente das camadas do pavimento e subleito.

Tabela 21: Análise estatística dos valores individuais do Pavimento

Módulo do Pavimento (E _p)	Lado direito			Lado esquerdo		
	Faixa 1	Faixa 2	3a Faixa	Faixa 1	Faixa 2	3a Faixa
média (kgf/cm ²)	2964	2326	4708	3402	2580	3018
Desvio Padrão (kgf/cm ²)	1805	1297	651	1778	1834	244
CV (%)	61%	56%	14%	52%	71%	8%
Máximo (kgf/cm ²)	10367	6925	5359	9655	15523	3262
Mínimo (kgf/cm ²)	477	598	4058	661	515	2774

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 22: Análise estatística dos valores individuais do subleito

Módulo do Subleito (E _{sl})	Lado direito			Lado esquerdo		
	Faixa 1	Faixa 2	3a Faixa	Faixa 1	Faixa 2	3a Faixa
Média (kgf/cm ²)	1221	1075	2052	1106	1106	1507
Desvio Padrão (kgf/cm ²)	450	418	201	464	464	147
CV (%)	37%	39%	10%	42%	42%	10%
Máximo (kgf/cm ²)	2779	2963	2253	3038	3038	1654
Mínimo (kgf/cm ²)	4	452	1851	462	462	1360

(Fonte: Autoria própria)

Verificou-se que nos dois lados, que os módulos médios do pavimento (E_p) no lado direito apresentaram valores entre 16% a 32 % superiores que os módulos do subleito (E_{sl}). No lado esquerdo, os módulos médios pavimento ficaram entre 100 e 207% superiores em relação a camada do subleito.

Por fim os valores de módulos de resiliência obtidos, tanto no primeiro trecho quanto no segundo, apresentaram valores com alta dispersão, indicando grande variabilidade dos módulos em cada camada. Os percentuais de coeficiente de variação estão em torno de 61 a 10% no lado direito e 71% a 10% do lado esquerdo.

7.5 COMPARATIVO MÓDULOS RETROANALISADOS X MÓDULOS ADMISSÍVEIS.

Por fim, foram feitos comparativos dos módulos retroanalizados com os valores admissíveis por faixa, como pode ser visto nas figuras 26 a 33. Os limites admissíveis ou mínimos do pavimento e do subleito foram calculados a partir da adaptação de três parâmetros do método de Albernaz: A distância radial r_x é calculada como a média aritmética das distâncias radiais de cada subtrecho nos quais a deflexão depende apenas do subleito; D_x a distância em relação ao ponto é considerada não mais a deflexão referente ao subleito, e sim a admissível e, por fim, D_0 foi adotada como a deflexão característica do subtrecho.

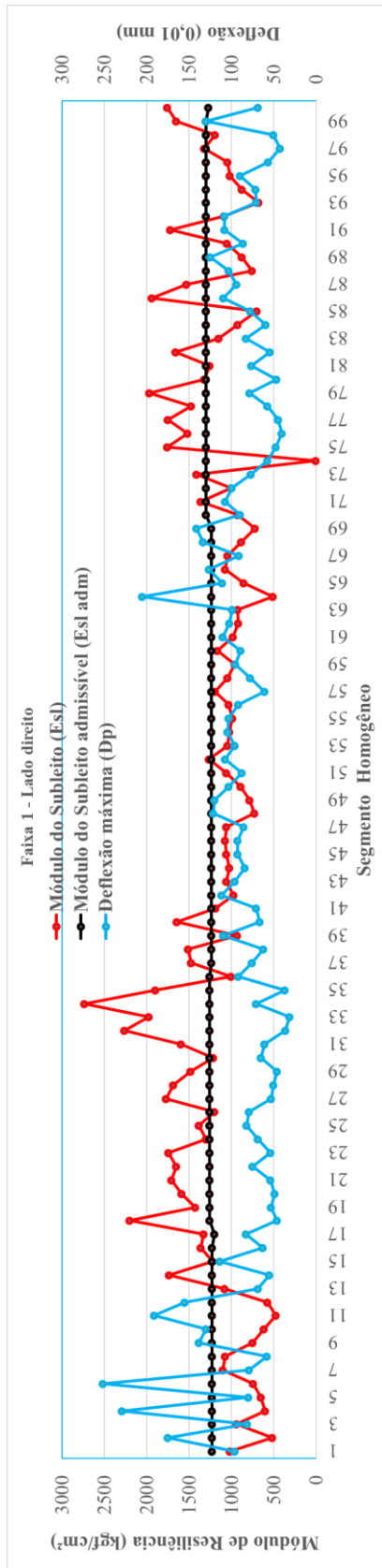


Figura 26– Comparativo módulo Subleito (E_s) vs módulo admissível ($E_{sl \text{ adm}}$) vs deflexão (D) – Faixa 1 - Lado direito (Autoria própria).

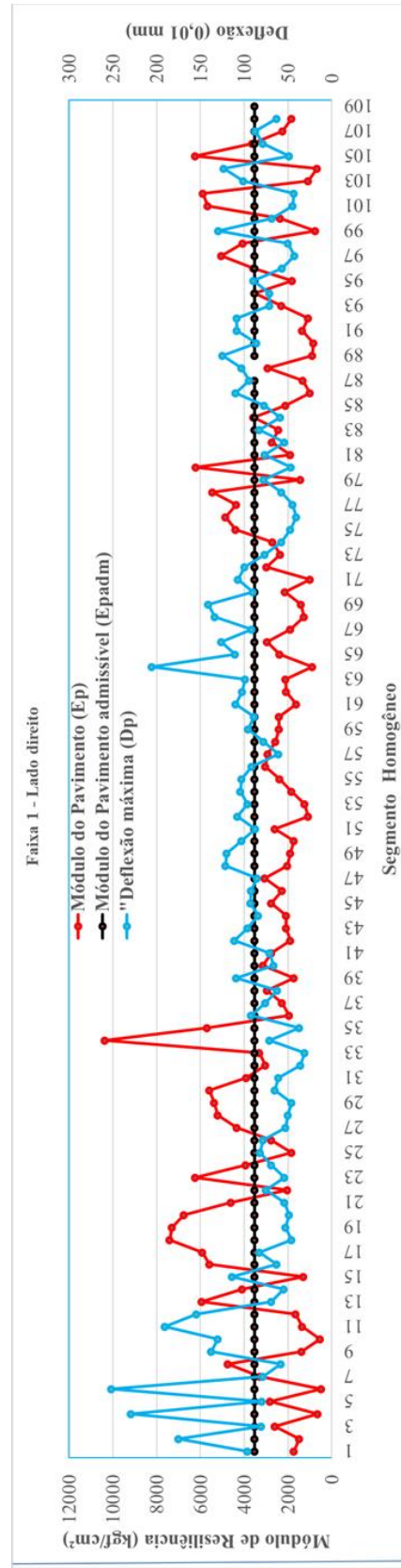


Figura 27 – Comparativo módulo Pavimento (E_p) vs módulo admissível ($E_{p \text{ adm}}$) vs deflexão (D) – Faixa 1 - Lado direito (Autoria própria).

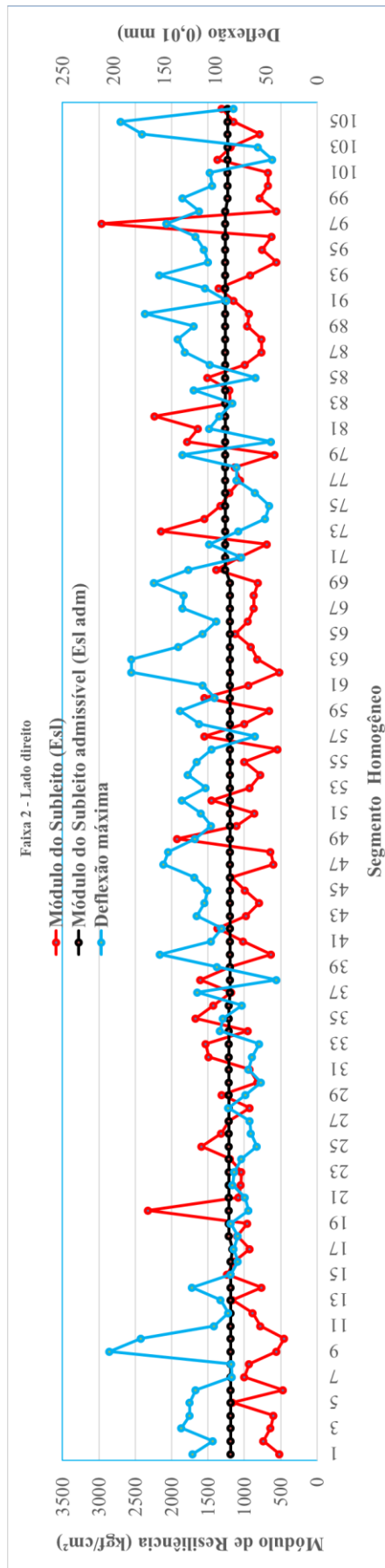


Figura 28 – Comparativo módulo Subleito (E_s) vs módulo admissível (E_{sl adm}) vs deflexão (D) – Faixa 2 - Lado direito (Autoria própria).

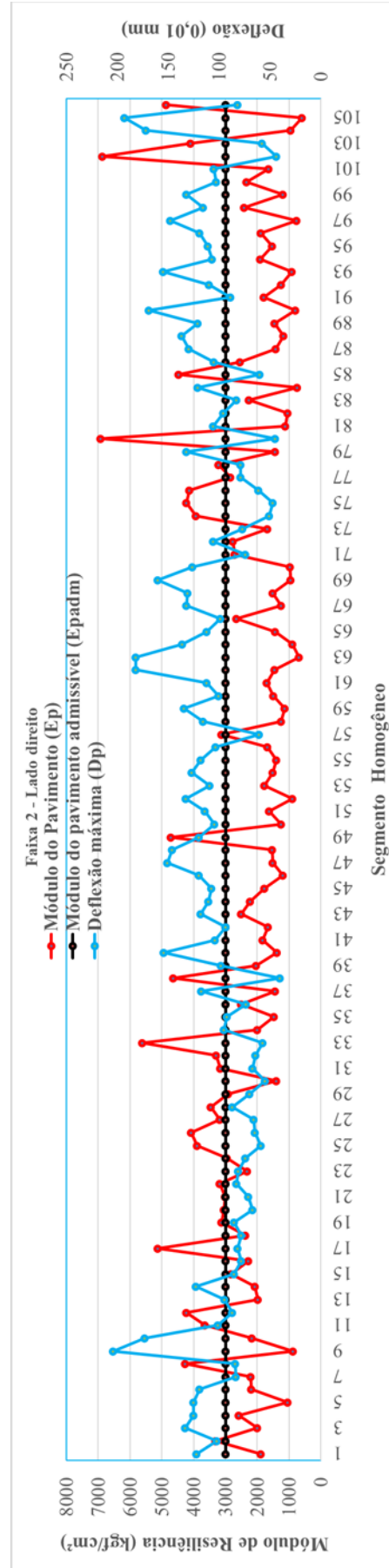


Figura 29 – Comparativo módulo Pavimento (E_p) vs módulo admissível (E_{p adm}) vs deflexão (D) – Faixa 2 - Lado direito (Autoria)

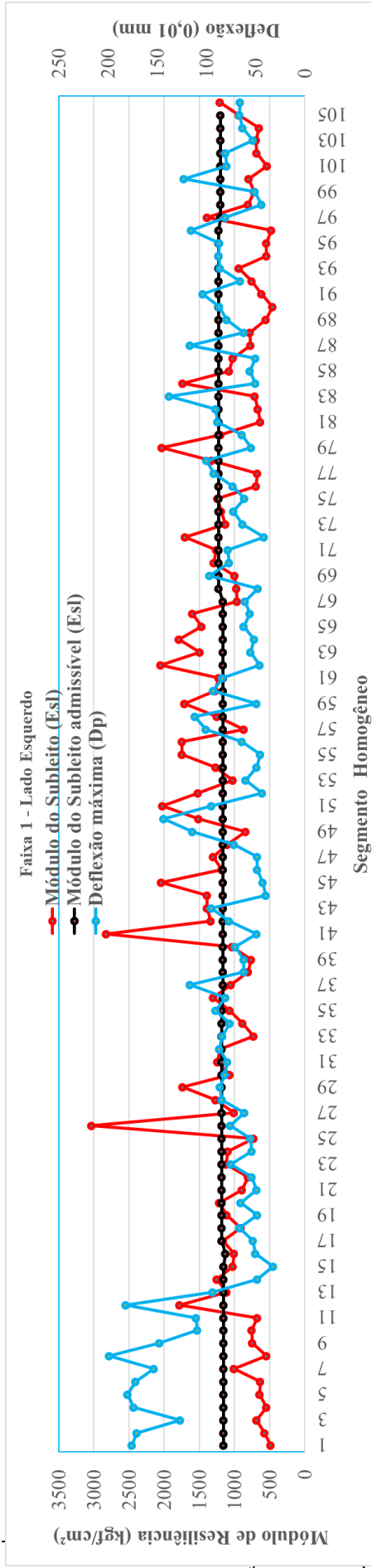


Figura 30 – Comparativo módulo Subleito (E_s) vs módulo admissível ($E_{s,adm}$) vs deflexão (D) – Faixa 1 – Lado esquerdo (Autoria própria).

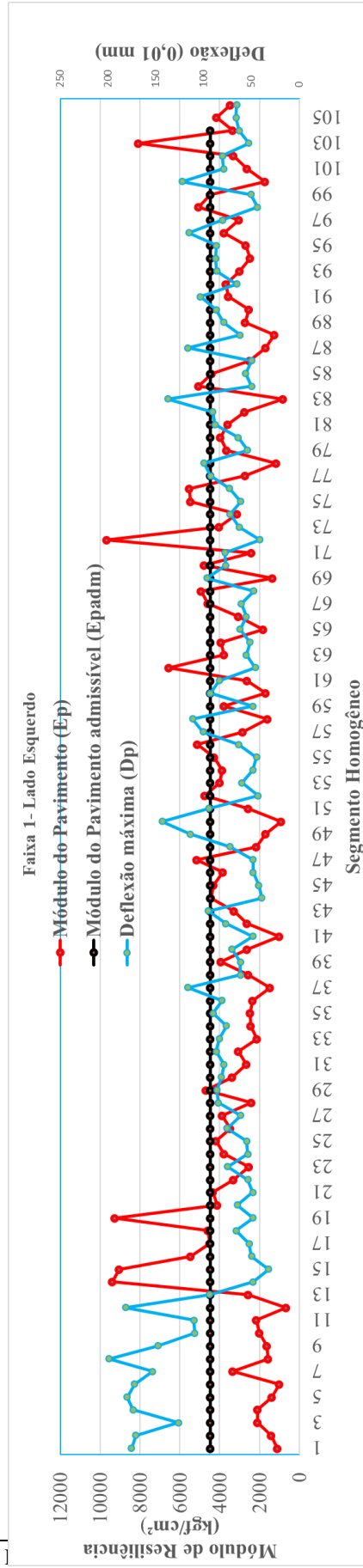


Figura 31 – Comparativo módulo Pavimento (E_p) vs módulo admissível ($E_{p,adm}$) vs deflexão (D) – Faixa 1 – Lado esquerdo (Autoria própria).

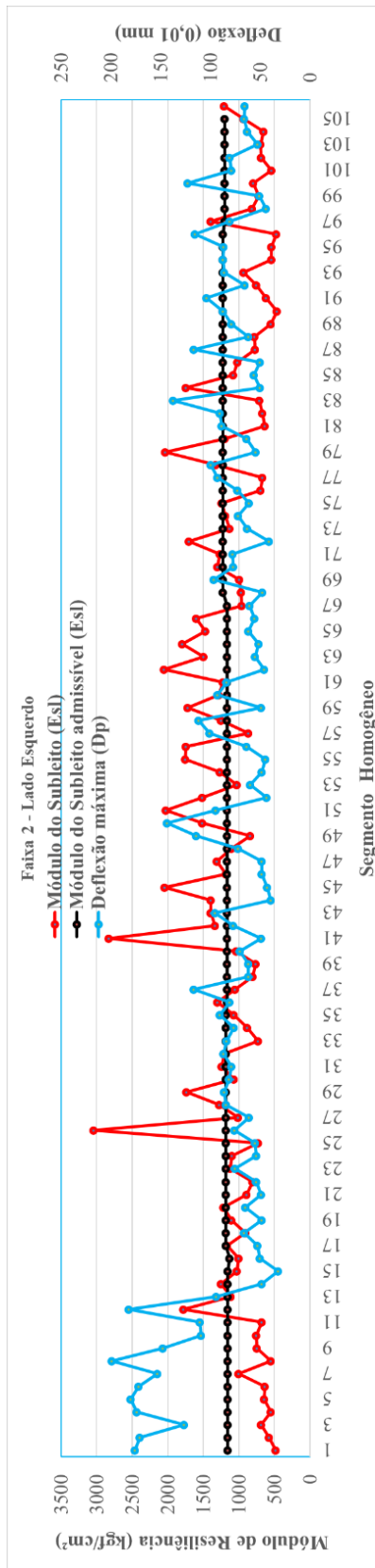


Figura 32– Comparativo módulo Subleito (E_{sl}) vs módulo admissível (E_{padm}) vs deflexão (D) – Faixa 2 – Lado esquerdo (Autoria própria).

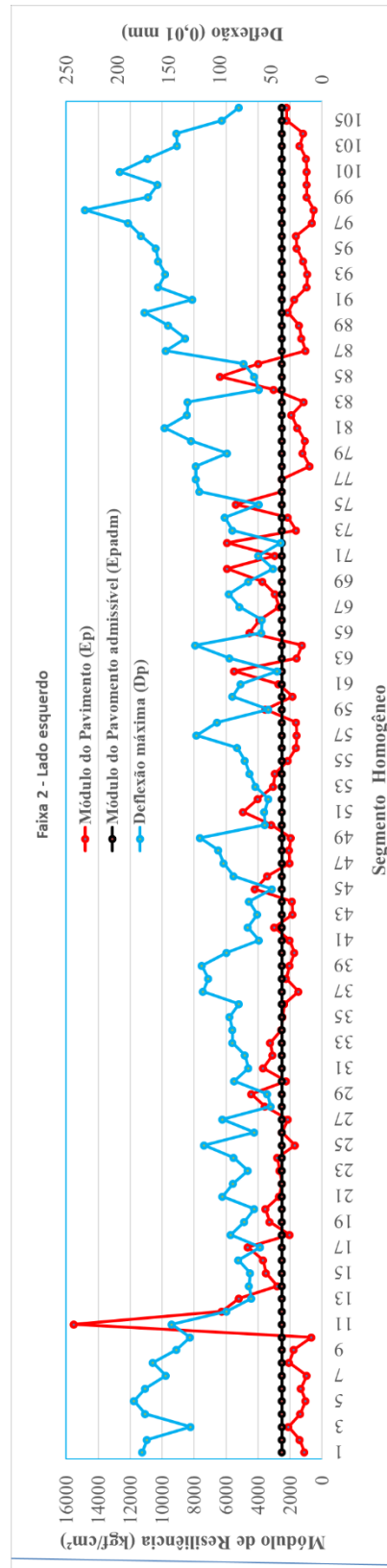
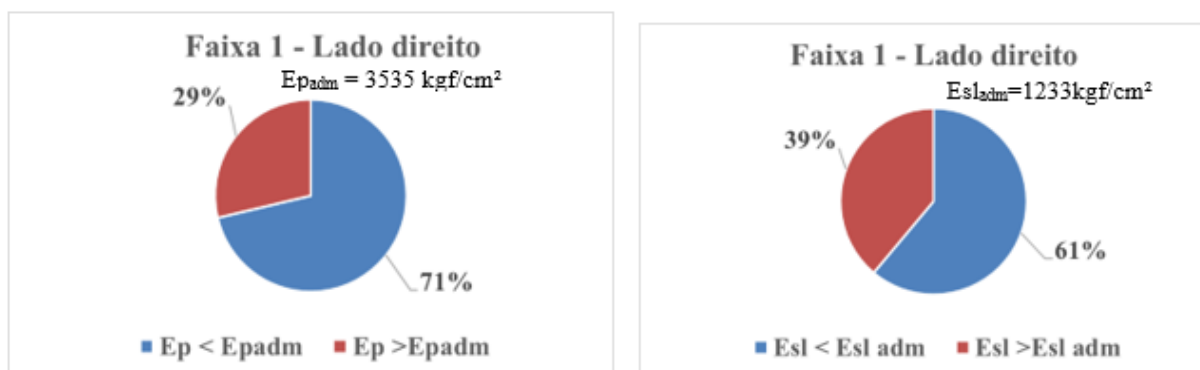


Figura 33 – Comparativo módulo Pavimento (E_p) vs módulo admissível (E_{padm}) vs deflexão (D) – Faixa 2 – Lado esquerdo (Autoria própria).

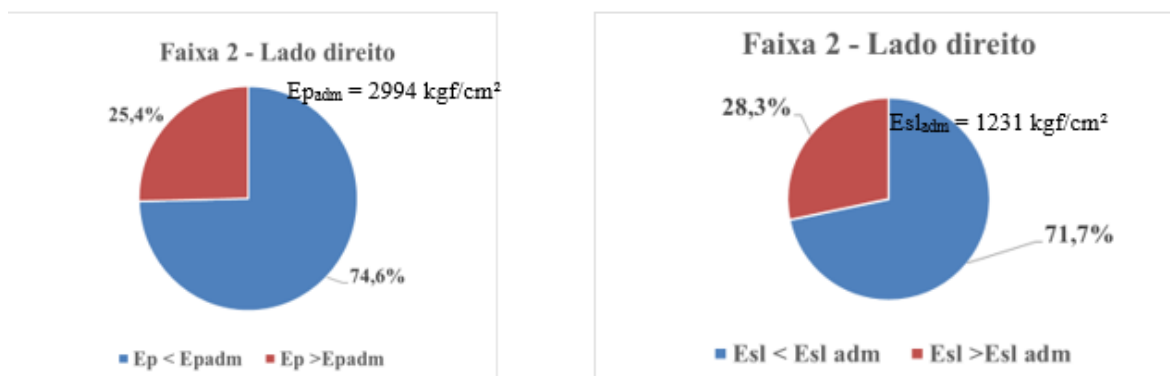
Nas figuras 34 a 37, é possível visualizar a distribuição percentual dos módulos elásticos por faixa.

Figura 34 – Distribuição percentual módulo Subleito (E_p) vs módulo do Pavimento vs módulo admissível (E_{adm}) – Faixa 1 – Lado direito



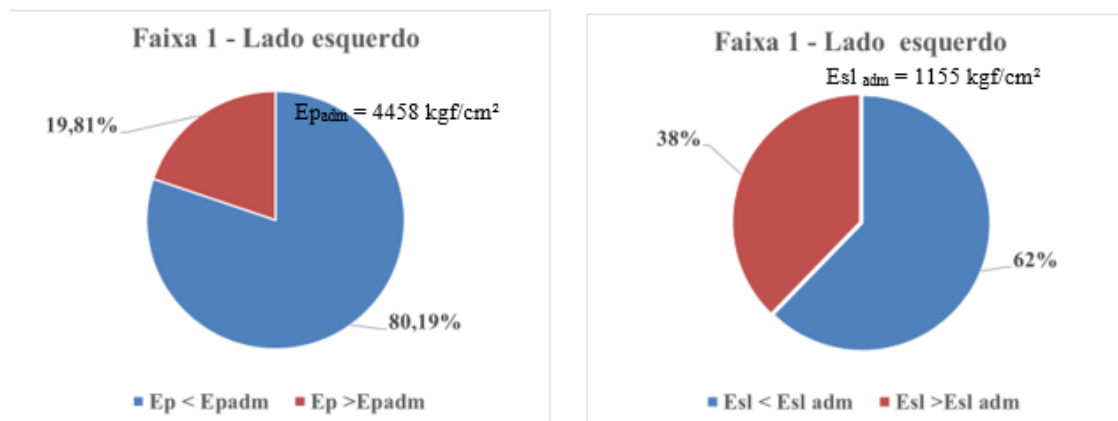
(Fonte: Autoria Própria)

Figura 35 – Distribuição percentual módulo Subleito (E_p) vs módulo do Pavimento vs módulo admissível (E_{adm}) – Faixa 2 – Lado direito



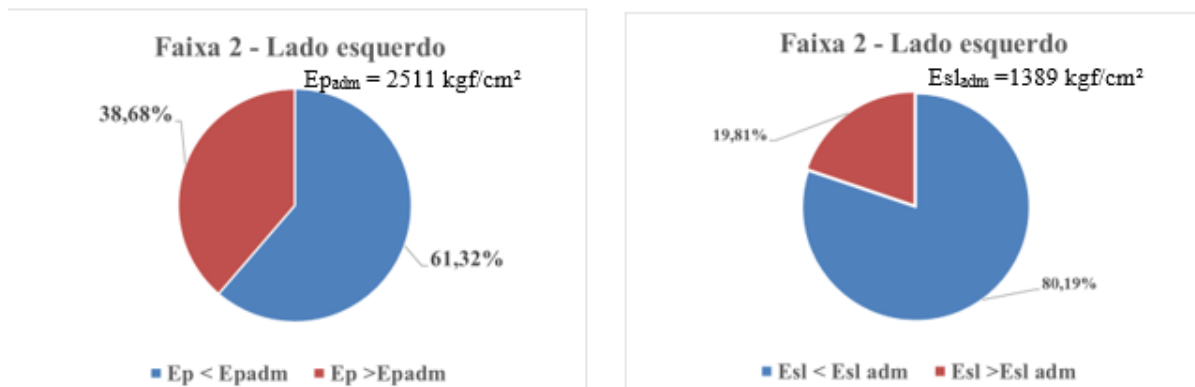
(Fonte: Autoria Própria)

Figura 36 – Distribuição percentual módulo Subleito (E_p) vs módulo do Pavimento vs módulo admissível (E_{adm}) – Faixa 2 – Lado direito



(Fonte: Autoria Própria)

Figura 37 – Distribuição percentual módulo Subleito (E_p) vs módulo do Pavimento vs módulo admissível (E_{adm}) – Faixa 2 – Lado esquerdo



(Fonte: Autoria Própria)

Os resultados da distribuição percentual dos módulos elásticos por faixa indicam que tanto o pavimento quanto o subleito (E_{sl}) quanto do pavimento (E_p) apresentam baixo desempenho estrutural.

Na faixa 1 – lado direito, 71% dos valores individuais módulo do pavimento (E_p) apresentaram valores abaixo do recomendável ($E_{padm} = 3535 \text{ kgf/cm}^2$). No caso do módulo do subleito (E_{sl}),

61 % dos valores estão abaixo dos admissível ($E_{padm} = 1233 \text{ kgf/cm}^2$). Na faixa 2 - lado direito, 74,6% e 71,7% dos valores individuais do E_p e E_{sl} , apresentaram, respectivamente valores abaixo do mínimo ($E_{padm} = 2944 \text{ kgf/cm}^2$ e $E_{padm} = 3535 \text{ kgf/cm}^2$).

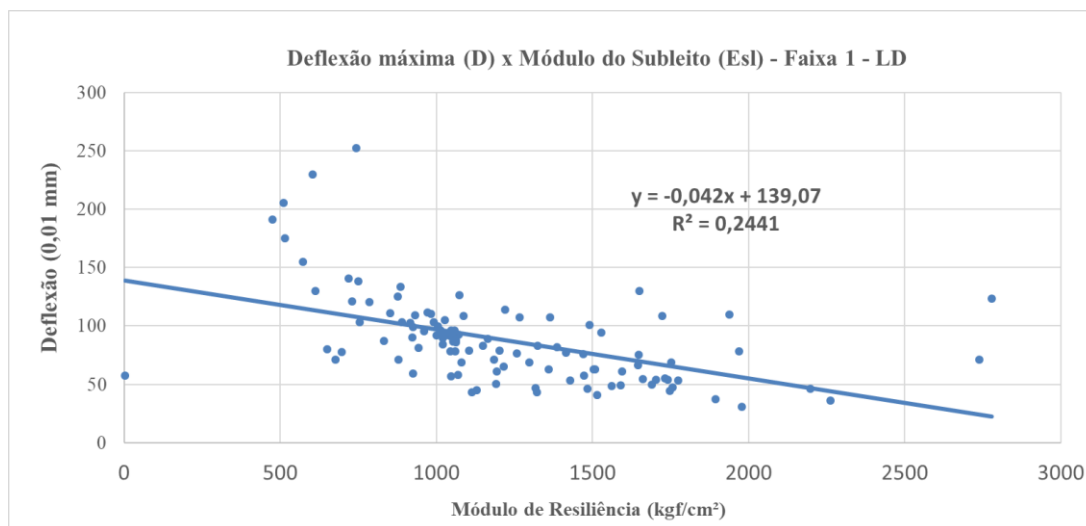
Na faixa 1 - lado esquerdo, 80,19 % dos segmentos apresentam valores de E_p inferiores ao mínimo ($E_{padm} = 4485 \text{ kgf/cm}^2$), ao passo que 62% dos subtrechos estão com valores maiores que os recomendáveis.

Por fim, na faixa 2 - lado esquerdo, 61,32 % dos segmentos apresentam valores de E_p inferiores ao mínimo ($E_{padm} = 2511 \text{ kgf/cm}^2$). No caso do módulo do subleito que 62% dos subtrechos estão com valores maiores que os recomendáveis.

7.6 CORRELAÇÃO ENTRE MÓDULO DO SUBLEITO (E_{SL}) E DEFLEXÃO CARACTERÍSTICA (D)

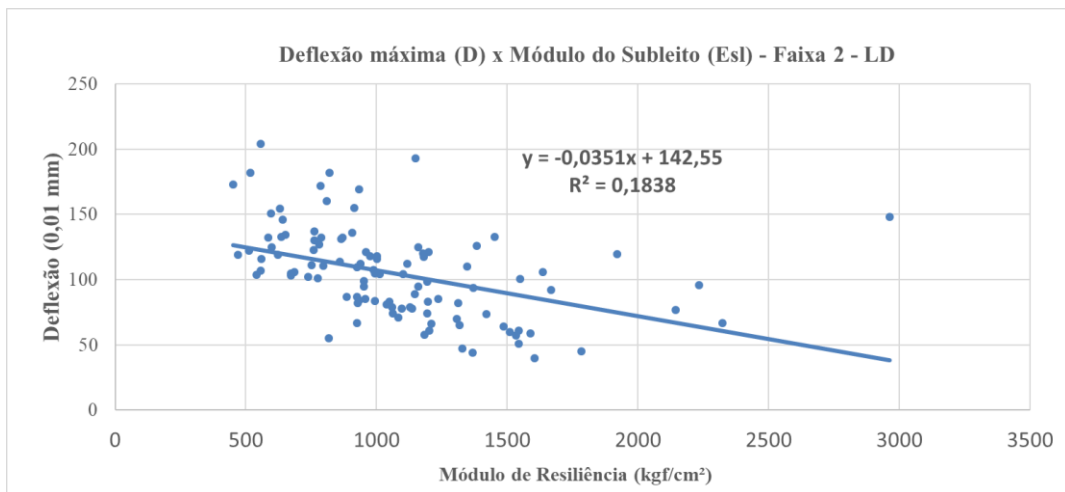
Nas figuras 38 a 41 são apresentadas as correlações entre deflexões características com o módulo do subleito (E_{sl}) para as faixas do lado direito e esquerdo.

Figura 38 - Correlação entre deflexão e módulo do subleito (E_{sl})- Faixa 1 – Lado direito



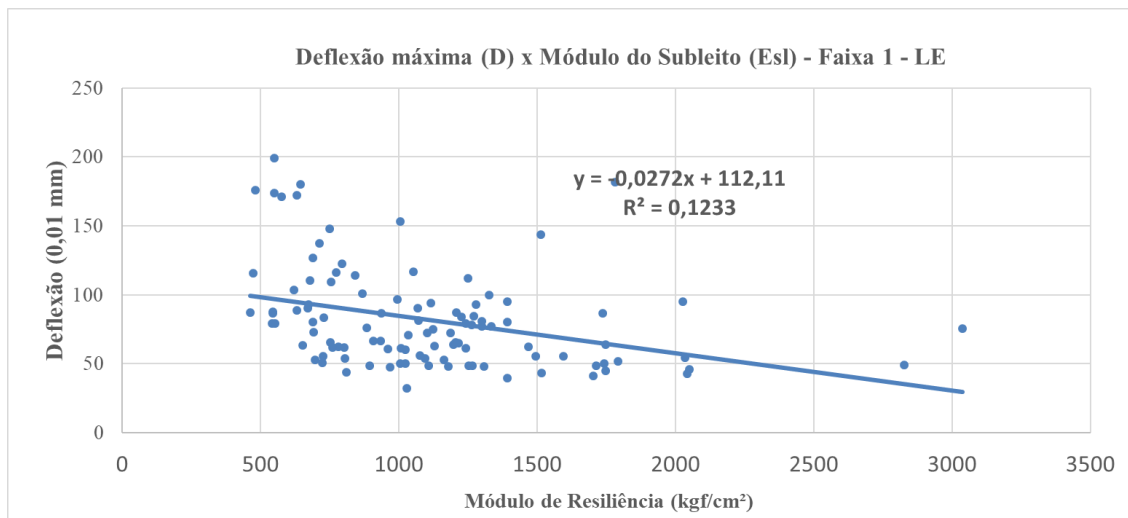
(Fonte: Autoria Própria)

Figura 39 - Correlação entre deflexões e módulo do subleito (E_{sl}) - Faixa 1 – Lado esquerdo



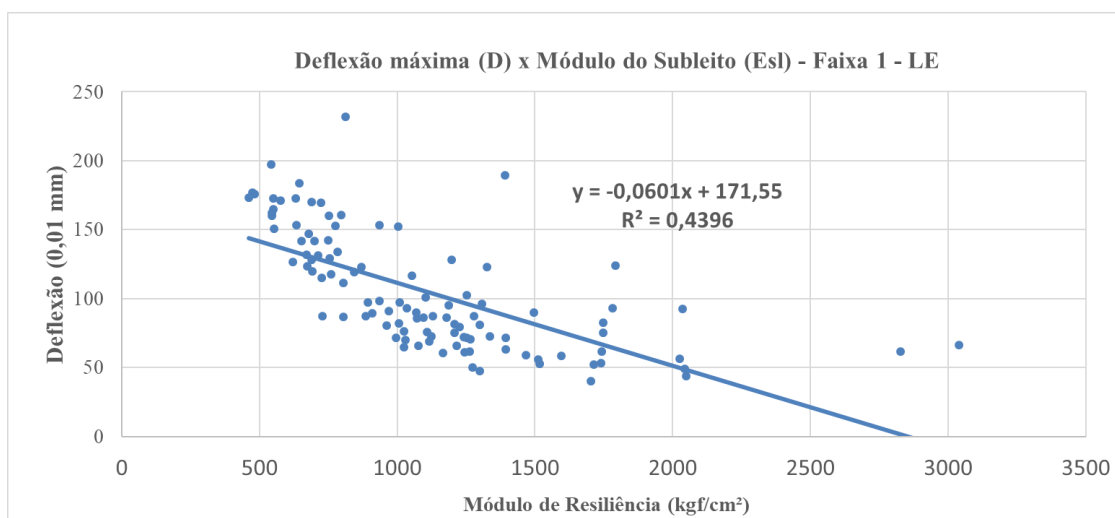
(Fonte: Autoria Própria)

Figura 40 - Correlação entre deflexões e módulo do subleito (E_{sl})- Faixa 2 – Lado direito



(Fonte: Autoria Própria)

Figura 41 – Correlação entre deflexões e módulo do subleito (Esl)- Faixa 2 – Lado esquerdo



(Fonte: Autoria Própria)

Percebe-se nas figuras que, no geral, há uma baixa correlação entre os valores da deflexão característica (D_p) com os módulos do subleito. O fato do coeficiente R^2 não ser elevado indica em princípio que a variabilidade da deflexão não depende da variabilidade do módulo. Contudo, olhando os gráficos, é provável que haja vários "valores espúrios" (pontos que estão tirando significância ao modelo). Isso pode ser erro na medição, erro na retroanálise ou, ainda, que o modelo é fraco.

8. CONCLUSÕES

Com base nos resultados de avaliação estrutural pode-se concluir que :

- a) A BR-153 apresenta péssima qualidade ao rolamento. O pavimento apresentou, na maioria dos segmentos homogêneos, valores individuais de deflexão características superiores a admissíveis, indicando que o trecho não está trabalhando em regime elástico.
- b) Em função do volume de tráfego projetado para a rodovia foi definido pelo método DNER-PRO 11/79 espessuras elevadas de reforço para a grande maioria dos segmentos homogêneos, sugerindo que o pavimento está sendo bastante solicitado pelo tráfego e, portanto, exige maiores espessuras de recapeamento. Constatou-se que, a maioria dos segmentos homogêneos, necessita de uma espessura de recapeamento asfáltico que gira em torno dos 17 cm.
- c) Com relação a análise estatística dos módulos retroanalisados, conclui-se que estes apresentam grande dispersão de valores, que pode ser atribuída a vários fatores, tais como: a profundidade da camada rígida, o comportamento resiliente de camadas ou, ainda, a presença de valores espúrios na amostra. No entanto, segundo Balbo (2007), para uma análise mais detalhada, é necessário a aplicação de modelos que discriminem condições de resiliência entre as transições das camadas. Isso é possível com o emprego de programas mecânicos que permitam o uso de modelos multicamadas.

Constatou-se também os módulos médios do pavimento (E_p) no lado direito apresentaram valores entre 16% a 32 % superiores que os módulos do subleito (E_{sl}). No lado esquerdo, os módulos médios pavimento ficaram entre 100 e 207% superiores em relação a camada do subleito.

- d) Os resultados da distribuição percentual dos módulos elásticos por faixa indicam que tanto o pavimento quanto o subleito (E_{sl}) quanto do pavimento (E_p) apresentam baixo desempenho estrutural. A maioria dos segmentos homogêneos apresentou valores individuais de módulos de resiliência de inferiores ao admissível, indicando que estão em estado estrutural crítico. As camadas mais comprometidas estruturalmente estão nas faixas 1 e 2 do lado esquerdo. Na faixa 1 - lado esquerdo, 80,19% dos valores

individuais do módulo do pavimento (E_p) superiores aos admissíveis, mesmo percentual encontrado de módulo do subleito (E_{sl}) para a faixa 2 do mesmo lado.

- e) Com relação aos gráficos deflexão característica x módulo do subleito, constatou-se que há baixa correlação entre os parâmetros, indicando que a variabilidade da deflexão não depende da variabilidade do módulo do subleito.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, A.B. Avaliação da capacidade de suporte e controle tecnológico de execução Da camada final de terraplenagem utilizando o penetrômetro dinâmico de cone. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

COMPANHIA ESPANHOLA DE PETRÓLEOS. Manual de Pavimentação, 3ª edição. Portugal, 2014. Disponível em:

<https://www.cepsa.com/stfls/CepsaPt/O%20Que%20O20Oferecemos20Oferecemos/Produtos%20Asf%C3%A1lticos/Ficheros_Produtos%20Asf%C3%A1lticos/M anual_Pavimentacao_Web.pdf>. Acesso em: 21 julho. 2018

BALBO, J. T. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BASTOS, J. B. S. Considerações sobre a deformação permanente de pavimentos asfálticos no dimensionamento mecanístico-empírico. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, 2016

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. da; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 1. ed. (3. reimpr.). Rio de Janeiro: Petrobrás; Abeda, 2008 (reimpr. 2010).

BEZERRA NETO, Rogério Silveira. **Análise comparativa de pavimentos dimensionados através dos métodos empírico do DNER e mecanístico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para a região de Campo Grande (MS).** 2004. Dissertação (Mestrado em Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

BORGES, C. B. S. **Estudo comparativo entre medidas de deflexão com viga Benkelman e FWD em pavimentos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina. 2001.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

CASTRO, B. A. C. Notas de aula – Construção de estradas e vias urbanas. **Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, s.d.**

CAVALCANTE, F. P. Avaliação das Características Funcionais e Estruturais da Rodovia BR-230/PB - Lote III. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Pernambuco, 2005

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Boletim estatístico.** Disponível em: <<file:///C:/Users/user/Desktop/Boletim%20Estat%20C3%ADstico%20-%202006%20-%202017.pdf>>. Acesso em: 26 jul. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER-PRO 11/79:** avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis. Normas rodoviárias – Volume I. Procedimento

– B. Brasília, DF, 1979. Disponível em: < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/procedimento-pro/dner-pro011-79.pdf>>. Acesso em: 22 julho. 2018.

_____. **DNER PRO 273/96**. Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo “Falling Weinght Deflectometer” Disponível em: <<file:///C:/Users/Thiarlle/Downloads/DNER-PRO273-96.pdf>>. Acesso em: 18 de agosto. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**, 3ª edição. Rio de Janeiro, RJ, 2006b. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf>. Acesso em: 21 julho. 2018.

_____. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**, 2ª edição. Rio de Janeiro, RJ, 2006. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/..%5Carquivos_internet%5Cipr%5Cipr_new%5Cmanuais%5CManual_de_Restauracao.pdf>. Acesso em: 18 de agosto. 2018.

_____. **Manual de Estudos de Tráfego**, 3ª edição. Rio de Janeiro, RJ, 2006a. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/723_manual_estudos_trafego.pdf>. Acesso em: 18 de agosto. 2018.

MORAES, C. G. Análise de bacias deflectométricas obtidas por 4 equipamentos do tipo Falling Weight Deflectometer (Fwd). Dissertação de mestrado. UFRJ. Rio de Janeiro. 2015.

_____. **DNIT 133/2010 – ME**: Pavimentação asfáltica – Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da Viga Benkelman – Método de ensaio Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dnit133_2010_me.pdf>. Acesso em: 22 de outubro. 2018.

FRANCISCO, A. P. S. Comportamento estrutural de pavimentos asfálticos. **Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal, 2012.**

JACINTO, M. A. S. C. Caracterização Estrutural de Pavimentos. **Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Portugal, 2003.**

JUNIOR, A. H.; BLANCO, E. F. R.; LOPES, F. S.; MORAIS, H. R. RODRIGUES, R.M; FILHO, S. R. **Avaliação e restauração de pavimentos: Uma proposta de adequação ao dimensionamento de reforço.** Disponível em:

https://www.huesker.de/fileadmin/Media/Technical_Paper/PT/04_Avaliacao_e_restauracao_d_e_pavimentos_-_dimensionamento_do_reforco.pdf. Acessado em: 14/11/2018

LOPES, F. M. **Pavimentos flexíveis com revestimento asfáltico – avaliação estrutural a partir dos parâmetros de curvatura da bacia de deformação.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil. 2012

MACÊDO, F. N. **Retroanálise de bacias de deflexões reais e teóricas obtidas por métodos estáticos e dinâmicos.** Universidade de Brasília, 2003.

MADRUGA, Clovis Ferreira. **Trabalhando com Viga Benkelman.** 2007.

MARQUES, G. L. O. Notas de aula da disciplina de Pavimentação. **Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais, 2006.**

SANTOS, H. C. A; SOARES, J. B. **Obtenção de módulos de resiliência em laboratório e por meio de retroanálise em rodovias no Estado do Ceará e o efeito no dimensionamento de pavimentos.** In CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET, XXIX, 2015, Ouro Preto.

MEDINA, J.; **Mecânica dos Pavimentos. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 2015.**

NOURELDIN, A.S. **A New Scenario for Backcalculation of Layer Moduli of Flexible Pavement.** Transportation Research Record. Washington., 1993. Disponível em: <<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1993/1384/1384-004.pdf>>. Acessado em: 15/10/2018

ODA, S. **Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação.** Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Carlos. 2000.

NÓBREGA, E. S. Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos. **365 f. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003**

PINTO, S. e PREUSSLER, E. **Pavimentação Rodoviária: Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis.** Rio de Janeiro: COPIARTE, 2002.

RIBAS, C. Y. **Estudo comparativo entre as metodologias empírica e empírico-mecanicista de dimensionamento de reforço de pavimentos flexíveis: um estudo de caso da rodovia BR-282/SC.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

SANTOS, H. C. A; SOARES, J. B. **Obtenção de módulos de resiliência em laboratório e por meio de retroanálise em rodovias no Estado do Ceará e o efeito no dimensionamento de pavimentos.** In CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET, XXIX, 2015, Ouro Preto.

SANTOS, M. Dimensionamento de Camadas de Reforço de Pavimentos Rodoviários Flexíveis, **Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2009.**

TORRÃO, H. C. Reabilitação de Pavimentos Rodoviários Flexíveis. **Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal, 2015.**

