

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Aline Severo Martins**

**PROJETO DE REABILITAÇÃO DE PAVIMENTO DE  
TRECHO DA RODOVIA ERS-122: UTILIZAÇÃO DO  
MÉTODO DNER-PRO 269/94**

Porto Alegre  
junho 2014

**ALINE SEVERO MARTINS**

**PROJETO DE REABILITAÇÃO DE PAVIMENTO DE  
TRECHO DA RODOVIA ERS-122: UTILIZAÇÃO DO  
MÉTODO DNER-PRO 269/94**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento 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: Washington Peres Núñez**

Porto Alegre  
junho 2014

**ALINE SEVERO MARTINS**

**PROJETO DE REABILITAÇÃO DE PAVIMENTO DE  
TRECHO DA RODOVIA ERS-122: UTILIZAÇÃO DO  
MÉTODO DNER-PRO 269/94**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 17 de junho de 2014

Prof. Washington Peres Núñez  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt  
Dra. pelo PPGA/UFRGS  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Washington Peres Núñez (UFRGS)**  
Dr. pela UFRGS

**Prof. Jorge Augusto Pereira Ceratti (UFRGS)**  
Dr. pela UFRJ

**Eng. Rodrigo Rabello**  
Eng, Civil pela ULBRA

Dedico este trabalho a meus pais, Jairo e Lidia, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Washington Peres Núñez, orientador deste trabalho, pela confiança depositada em mim, pela dedicação e pelo conhecimento transmitido ao longo deste trabalho e na disciplina de Pavimentação.

Agradeço ao Prof. Jorge Ceratti pela oportunidade de observar experimentos no Laboratório de Pavimentação durante a disciplina de Tecnologia dos Revestimentos Asfálticos.

Agradeço ao Prof. Lélío Brito pelos ensinamentos passados na disciplina de Manutenção e Reabilitação dos Pavimentos.

Agradeço à Profa. Carin pelas aulas, fichas de leitura, seminários e pela incansável dedicação aos alunos nas disciplinas de Trabalho de Diplomação I e II.

Agradeço ao meu namorado Thiago pela paciência e pela ajuda durante a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, Lidia e Jairo, e aos meus irmãos, Eduardo e Luize, pelo carinho e apoio durante toda a jornada do curso de graduação.

Agradeço aos meus tios, Ana e Fernando, pelo apoio durante o período de preparação para o vestibular e durante a graduação.

Agradeço aos demais amigos e colegas que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

No que diz respeito ao desempenho, ao compromisso, ao  
esforço, à dedicação, não existe meio termo.  
Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.

*Ayrton Senna*

## **RESUMO**

Este trabalho refere-se ao projeto de reabilitação do pavimento flexível de trecho da rodovia ERS-122 pelo método DNER-PRO 269/94, visando recuperar a capacidade estrutural e condição funcional. Foram descritos, a partir da revisão da literatura, os tipos de defeitos que podem surgir em pavimentos, os métodos de avaliação, os métodos de dimensionamento de reforço e as técnicas de restauração para pavimentos asfálticos. Com os dados de levantamento de campo fornecidos pelo DAER-RS, como as deflexões, a irregularidade longitudinal, os afundamentos de trilha de roda e o valor de serventia atual, foi possível identificar os tipos de defeitos e avaliar o pavimento estruturalmente e funcionalmente. A partir da avaliação estrutural, com o auxílio da metodologia DNER PRO 269/94, foi dimensionada a estrutura da camada de reforço do pavimento para cada segmento homogêneo. Após o dimensionamento estrutural, foi feita a adequação do projeto de reforço, para que o pavimento atenda as condições funcionais exigidas pelo tráfego por um período de projeto de 10 anos.

**Palavras-chave:** Projeto de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos. Avaliação Estrutural de Pavimento Flexível. Avaliação Funcional de Pavimento Flexível. DNER-PRO 269/94. Dimensionamento de Reforço do Pavimento.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do delineamento da pesquisa .....	20
Figura 2 – Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido da utilização da via .....	34
Figura 3 – Estrutura de referência do pavimento .....	43
Figura 4 – Localização do trecho da rodovia ERS-122 .....	48
Figura 5 – VSA atribuído no sentido crescente .....	49
Figura 6 – VSA atribuído no sentido decrescente .....	49
Figura 7 – IRI sentido crescente .....	50
Figura 8 – IRI sentido decrescente .....	50
Figura 9 – ATR sentido crescente .....	51
Figura 10 – ATR sentido decrescente .....	51
Figura 11 – Fator de correção da deflexão em função da temperatura do pavimento asfáltico .....	52
Figura 12 – Deflexões medidas com Viga Benkelman .....	53
Figura 13 – Classificação expedita dos segmentos homogêneos .....	54



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Critérios para o estabelecimento das diretrizes de projeto .....	40
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do solo .....	42
Tabela 2 – Espessuras das camadas constituintes do pavimento .....	51
Tabela 3 – Segmentos homogêneos .....	54
Tabela 4 – Resumo dos resultados das espessuras de reforço (HR) para os segmentos homogêneos .....	57
Tabela 5 – Resumo dos resultados das espessuras de reforço (HR) para os segmentos da 3a. faixa .....	60
Tabela 6 – Resumo das soluções de reabilitação dos segmentos homogêneos .....	63
Tabela 7 – Resumo das soluções de reabilitação dos segmentos da 3a. faixa .....	66

## LISTA DE SIGLAS

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

CBR – Índice Suporte Califórnia

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado à Quente

CNT – Confederação Nacional do Transporte

CREMA-RS – Programa de Conservação, Restauração e Manutenção das Rodovias do Estado do Rio Grande do Sul

DAER-RS – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Estado do Rio Grande do Sul

DCP – Cones Dinâmicos de Penetração

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

FSA – Fresagem

FWD – *Falling weight deflectometer*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGG – Índice de Gravidade Global

IRI – *International Roughness Index*

NDT – *nondestructive deflection testing*

RS – Rio Grande do Sul

SAMI – *Stress Absorbing Membrane Interlayer*

TSSp – Tratamento Superficial Simples com polímero

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## LISTA DE SÍMBOLOS

N – número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão

IRI – escala de irregularidade (m/km)

ATR – Afundamento de trilha de roda (mm)

VSA – valor de serventia atual (nota de 0 a 5)

X – valor de serventia atual individual (nota de 0 a 5)

n – número de estações inventariadas

$n_a$  – número de avaliadores

$d_0$  – deflexão máxima (0,01 mm)

$L_i$  – leitura inicial do extensômetro (0,01 mm)

$L_f$  – leitura final do extensômetro (0,01 mm)

K – constante da viga

R – raio de curvatura (m)

$d_{25}$  – deflexão à 25 cm do eixo da carga (0,01 mm)

$d_{adm}$  – deflexão máxima admissível utilizado no método DNER-PRO 11/79 (0,01 mm)

$h_{CB}$  – espessura de reforço com concreto asfáltico utilizado no método DNER-PRO 11/79 (cm)

k – fator de redução da deflexão

$d_p$  – deflexão de projeto utilizado no método DNER-PRO 11/79 (0,01 mm)

$H_{cg}$  – espessura da camada granular (cm)

$h_{ef}$  – espessura efetiva (cm)

HR – espessura do reforço (cm)

$D_c$  – deflexão característica de projeto utilizado no método DNER-PRO 269/94 (0,01 mm)

$\bar{D}$  - média aritmética das deflexões de campo (0,01 mm)

$\sigma$  – desvio padrão das deflexões (0,01 mm)

$h_e$  – espessura do revestimento existente (cm)

$I_1$  e  $I_2$  – constantes relacionadas às características resilientes da terceira camada da estrutura de referência

$D_m$  – deflexão máxima admissível utilizado no método DNER-PRO 269/94 (0,01 mm)

$N_p$  – número de solicitações do eixo padrão durante a vida de projeto

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	18
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	18
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	18
<b>2.2.1 Objetivo Principal</b> .....	18
<b>2.2.2 Objetivo Secundário</b> .....	18
2.3 DELIMITAÇÕES .....	18
2.4 LIMITAÇÕES .....	19
2.5 DELINEAMENTO .....	19
<b>3 PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA</b> .....	21
3.1 SUBLEITO .....	23
3.2 REFORÇO DO SUBLEITO .....	23
3.3 SUB-BASE .....	23
3.4 BASE .....	24
3.5 REVESTIMENTO .....	24
<b>4 DEFEITOS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS</b> .....	26
4.1 DEFEITOS DE SUPERFÍCIE .....	27
<b>4.1.1 Fendas (F)</b> .....	27
<b>4.1.2 Afundamentos (A)</b> .....	27
4.1.2.1 Afundamento plástico .....	28
4.1.2.2 Afundamento de consolidação .....	28
<b>4.1.3 Ondulação ou corrugação (O)</b> .....	28
<b>4.1.4 Escorregamento (E)</b> .....	28
<b>4.1.5 Exsudação (EX)</b> .....	29
<b>4.1.6 Desgaste (D)</b> .....	29
<b>4.1.7 Panela ou buraco (P)</b> .....	29
<b>4.1.8 Remendo (R)</b> .....	29
4.2 IRREGULARIDADE LONGITUDINAL .....	30
<b>5 AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS</b> .....	31
5.1 AVALIAÇÃO OBJETIVA DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO ASFÁLTICO ...	31
5.2 AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO ASFÁLTICO .	32
5.3 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO ASFÁLTICO .....	34

<b>6 DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO ESTRUTURAL PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS</b> .....	38
6.1 ANÁLISE DEFLETOMÉTRICA .....	38
6.2 ANÁLISE DA DEFICIÊNCIA ESTRUTURAL .....	40
6.3 ABORDAGEM MECANÍSTICO-EMPÍRICA .....	41
<b>7 TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS</b> .....	46
7.1 TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO FUNCIONAL PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS .....	46
7.2 TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO ESTRUTURAL PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS .....	47
<b>8 SITUAÇÃO ATUAL DO TRECHO</b> .....	48
8.1 TRÁFEGO (NÚMERO N) .....	49
8.2 VALOR DE SERVIENTIA ATUAL (VSA) .....	49
8.3 IRREGULARIDADE LONGITUDINAL (IRI) .....	50
8.4 AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA (ATR) .....	50
8.5 SONDAGENS .....	51
8.6 DEFLEXÕES .....	52
8.7 SEGMENTOS HOMOGÊNEOS .....	53
<b>9 DEFINIÇÃO DAS SOLUÇÕES DE PROJETO</b> .....	56
<b>10 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	63
REFERÊNCIAS .....	68
ANEXO A .....	70
ANEXO B .....	72
ANEXO C .....	74
ANEXO D .....	77
ANEXO E .....	80
ANEXO F .....	83





## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil utiliza, para transportar a maior parte de suas cargas e passageiros, o modal rodoviário. Segundo dados da Confederação Nacional de Transporte (2013a), as rodovias são responsáveis por 61,1% do transporte de cargas e, conforme a Agência Nacional de Transportes Terrestres (2013), cerca de 71% dos deslocamentos interestaduais e internacionais de passageiros ocorrem pela malha rodoviária.

Com o crescimento econômico vivenciado pelo País, o número de viagens e o volume de cargas transportadas aumentam, contribuindo para que os pavimentos existentes deixem de cumprir suas finalidades: “[...] resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.” (BERNUCCI et al., 2008, p. 9). Isso ocorre, pois “[...] o pavimento é projetado em função do número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido e obtido a partir dos estudos de tráfego.” (PINTO; PREUSSLER, 2002, p. 162). Com o aumento do volume de cargas e das viagens, o número equivalente (N) de projeto é atingido em um tempo menor e, assim, os pavimentos precisam ser reabilitados antes do esperado.

Assim como o restante do País, o Rio Grande do Sul tem rodovias que não atendem a esses requisitos. Buscando uma solução, o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Estado (DAER-RS) implantou o “[...] Programa de Conservação, Restauração e Manutenção das Rodovias do Estado do Rio Grande do Sul (CREMA-RS) que foi criado para consolidar, em um único programa, as atividades de restauração e manutenção através de contratos de gestão por 5 anos contínuos.” (DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM, 2012, p. 4). Um dos trechos que está incluído no segundo lote do programa CREMA-RS é o trecho que foi abordado neste estudo: ERS-122 entre o município de Antônio Prado e a localidade de Samuel.

Para execução do projeto de reabilitação deste trecho, o DAER-RS fez levantamentos da condição superficial, das irregularidades longitudinais, dos afundamentos de trilhas de rodas e das deflexões deste pavimento (DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE

RODAGEM, 2012, p. 4), pois, segundo Bernucci et al. (2008, p. 463), é necessário fazer uma análise funcional, verificando as condições superficiais do pavimento, e uma avaliação estrutural, determinando a deflexão superficial resultante da aplicação de uma carga conhecida, para definir as alternativas de restauração dos pavimentos.

De posse dos dados obtidos com as análises funcional e estrutural, foi determinado qual o método a ser utilizado para obter o dimensionamento de reforço do trecho. Conforme Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006, p. 141):

Os métodos normalizados pelo DNER são os seguintes:

- a) DNER-PRO 10/79 - Método A;
- b) DNER-PRO 11/79 - Método B;
- c) Método do Instituto do Asfalto;
- d) DNER-PRO 269/94 -Método da Resiliência (TECNAPAV).

Após a escolha do método (neste estudo foi utilizado o método DNER-PRO 269/94), desenvolve-se o projeto de reabilitação do pavimento e em seguida, avalia-se a capacidade estrutural e a condição funcional da estrutura restaurada.

Neste estudo se buscou um projeto de reabilitação do pavimento do trecho da rodovia ERS-122 pelo método DNER-PRO 269/94 visando à restauração da capacidade estrutural e da condição funcional.

Sendo assim, no capítulo 2, foram apresentadas as diretrizes da pesquisa, como a questão e os objetivos, além da delimitação do trabalho no espaço geográfico. Nos capítulos 3, 4, 5 e 6, foram abordados, respectivamente, assuntos como, a situação da pavimentação rodoviária no Brasil, os defeitos que podem aparecer nos pavimentos flexíveis e suas causas, os métodos de avaliação dos pavimentos existentes e os métodos de dimensionamento de reforço que podem ser utilizados em um projeto de reabilitação. Já no capítulo 7, apresentou-se as diferentes técnicas construtivas de reabilitação de pavimento.

O capítulo 8 tratou da avaliação do trecho da rodovia ERS-122. Nesse capítulo foi apresentada a análise dos dados de levantamento de campo. No capítulo seguinte, fez-se o dimensionamento do reforço do pavimento com o método DNER-PRO 269/94 e a adequação para que atenda as condições funcionais, além das estruturais.

Enfim, no capítulo 10, foram apresentados os resultados do projeto de reabilitação do pavimento e as técnicas construtivas que devem ser executadas neste trecho.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa do trabalho é: empregando-se o método DNER-PRO 269/94, qual projeto de reabilitação pode ser desenvolvido para o pavimento de trecho da rodovia ERS-122, para que atenda as funções estrutural e funcional?

### **2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA**

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal é a elaboração de projeto de reabilitação de pavimento de trecho da rodovia ERS-122, pelo método DNER-PRO 269/94, visando recuperar a capacidade estrutural e condição funcional.

#### **2.2.2 Objetivo secundário**

O objetivo secundário do trabalho é a descrição de métodos construtivos de reforço de pavimento flexível.

### **2.3 DELIMITAÇÕES**

O trabalho delimita-se ao espaço geográfico do trecho de 42,24 km da rodovia ERS-122, entre o município de Antônio Prado e a localidade de Samuel, no estado do Rio Grande do Sul.

## 2.4 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) emprego do método DNER-PRO 269/94;
- b) uso de dados de campo coletados pelo DAER-RS.

## 2.5 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

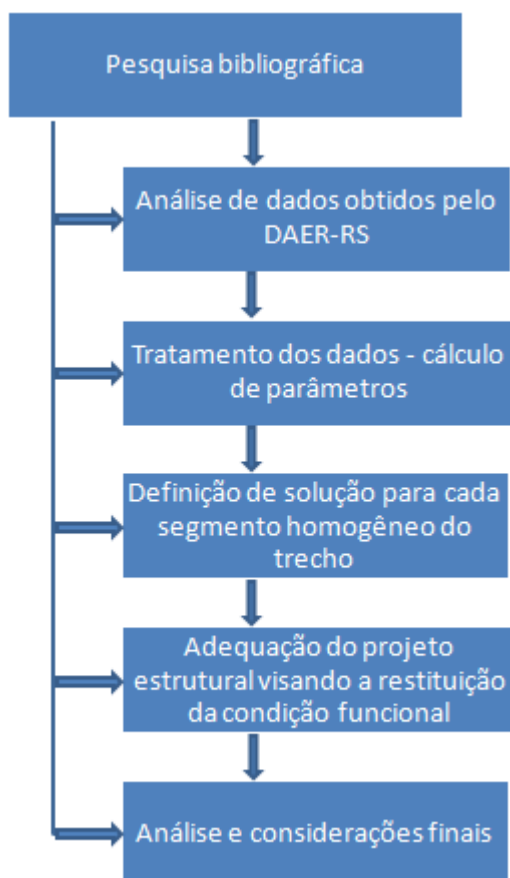
- a) pesquisa bibliográfica;
- b) análise de dados do trecho estudado obtidos pelo DAER-RS;
- c) tratamento dos dados – cálculo dos parâmetros;
- d) definição de solução para cada segmento homogêneo;
- e) adequação do projeto estrutural, visando à restituição da condição funcional do pavimento;
- f) análise e considerações finais.

Na etapa de pesquisa bibliográfica, buscou-se todas as informações sobre estruturas de pavimentos, classificação dos defeitos que podem ser encontrados nos pavimentos, como fazer a análise estrutural e funcional do trecho em estudo, como fazer o dimensionamento do reforço e técnicas de reabilitação dos pavimentos.

Seguidamente, na análise dos dados, como deflexões, irregularidades longitudinais, afundamentos de trilhas de rodas e contagem de tráfego, obtidos pelo DAER-RS fez-se a organização destas informações.

Na fase seguinte, com auxílio dos dados identificou-se que o pavimento enfrenta problemas funcionais maiores que os problemas estruturais. A partir daí, foi possível definir soluções de projeto para cada segmento homogêneo. Neste período, foram calculadas as espessuras de reforço para o pavimento flexível.

Figura 1 – Representação esquemática do delineamento da pesquisa



(fonte: elaborada pela autora)

Após, foi feita a adequação do projeto, para que o pavimento tenha a condição funcional restaurada. Nesta etapa se fez considerações sobre técnicas construtivas, que impedem o aparecimento de defeitos funcionais durante a vida de projeto.

Logo após a conclusão do projeto, foram apresentados os resultados finais e algumas considerações necessárias.

### **3 PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA**

No Brasil, o modal de transporte mais utilizado é o rodoviário, mesmo assim, “[...] levantamentos recorrentes da Confederação Nacional do Transporte (CNT) têm considerado a grande maioria dos pavimentos do Brasil de baixo conforto ao rolamento, incluindo trechos concessionados da malha federal.” (BERNUCCI et al., 2008, p. 20).

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (2013b, p. 63), 63,8 % das rodovias do País estão em situação regular, ruim ou péssima, considerando a malha federal e estadual. Quando se trata só das malhas estaduais a situação é ainda pior: 69,9% das rodovias estaduais encontram-se em situação regular, ruim ou péssima (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2013b, p. 125).

No Rio Grande do Sul (RS), a situação não é diferente do restante do Brasil. Neste Estado, se tem apenas 11.056 km de rodovias pavimentadas, sendo 5.753 km de rodovias federais e 4.604 km de rodovias estaduais. Ainda, segundo dados da Confederação Nacional do Transporte (2013b, p. 279), 51,1% destas rodovias estão em situação regular, ruim ou péssima.

Para Bernucci et al. (2008, p. 21), “[...] a competitividade da economia brasileira é prejudicada pela falta de investimento em infraestrutura, uma vez que isso acarreta um número crescente de acidentes, desperdício de carga e gasto elevado com manutenção e combustíveis.”. Já Balbo (2007, p. 15) cita que a falta de manutenção das rodovias e a inexistência de trechos rodoviários adequados que liguem a produção a terminais de exportação, causam a perda da competitividade dos produtos brasileiros nos mercados europeus.

Sendo assim, é necessário que o País invista mais neste modal de transporte, pois, desta forma, crescerá economicamente. Para tanto, deve-se pensar em projetos de construção e reabilitação de pavimentos que atendam os usuários e o transporte de cargas, visando o crescimento econômico do País, o bem do meio ambiente e economia de recursos.

Segundo Bernucci et al. (2008, p. 9), o pavimento é:

[...] uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

O objetivo da pavimentação rodoviária é “[...] melhorar as estradas de terra, protegendo-as da ação da água, do desprendimento de poeiras e pedras, tornando-as mais cômodas e seguras ao tráfego e mais duráveis.” (MEDINA; MOTTA, 2005, p. 14). Além disso, o pavimento também deve “[...] permitir que se realizem operações de reforço ou recapeamento compatíveis com o crescimento do volume de tráfego [...]” (PINTO; PREUSSLER<sup>1</sup>, 2002, p. 4).

De acordo com Bernucci et al. (2008, p. 9), os pavimentos classificam-se em rígidos e flexíveis, ou mais recentemente, em pavimentos de concreto de cimento Portland e pavimentos asfálticos. Já Pinto e Preussler (2002, p. 11) classificam os pavimentos em rígidos, flexíveis e semi-rígidos.

Os pavimentos rígidos são revestidos por placas de concreto de cimento Portland, podendo ser armadas ou não com barras de aço (BERNUCCI et al., 2008, p. 9). E, de acordo com Pinto e Preussler (2002, p. 11), esse tipo de “[...] revestimento tem elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.”.

Os pavimentos flexíveis são constituídos, normalmente, pelo reforço do subleito, pela sub-base, pela base e pelo revestimento asfáltico, sendo que o revestimento é uma mistura de agregados e ligantes asfálticos. Essas camadas sofrem deformação elástica, distribuindo as cargas em parcelas equivalentes entre elas. As deformações e as tensões geradas na camada asfáltica, podem causar o trincamento por fadiga. Além disso, a camada de revestimento pode trincar devido ao envelhecimento do ligante asfáltico (BERNUCCI et al., 2008, p. 9; PINTO; PREUSSLER, 2002, p. 11).

Os pavimentos semi-rígidos caracterizam-se por “[...] uma base cimentada quimicamente, como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.” (PINTO; PREUSSLER, 2002, p. 11).

---

<sup>1</sup> Pinto e Preussler (2002, p. 4) fazem referência às apostilas de pavimentação e notas de aula de Antão L. de Melo, Universidade Federal de Pernambuco.



Este trabalho aborda os pavimentos flexíveis e, desta forma, se faz a descrição das camadas constituintes deste tipo de pavimento.

### 3.1 SUBLEITO

Segundo Balbo (2007, p. 37), cabe ao subleito aliviar os esforços impostos pelo tráfego em sua profundidade, solicitando assim que os estratos superiores desta camada de solo sejam bem compactados, pois ali atuam esforços de maior magnitude.

### 3.2 REFORÇO DO SUBLEITO

Conforme Pinto e Preussler (2002, p. 13), “[...] o reforço do subleito é a camada de espessura constante transversalmente e variável longitudinalmente, [...] executada sobre o subleito regularizado.”. Para Balbo (2007, p. 37-38) [...] o emprego desta camada não é obrigatório, porém torna-se necessário quando o subleito tem pequena resistência aos esforços de cisalhamento.

O reforço do subleito, constituído geralmente por solo argiloso, tem propriedades físicas que melhoram as condições de suporte, permitindo uma melhor distribuição e absorção das cargas (PINTO; PREUSSLER, 2002, p. 13).

### 3.3 SUB-BASE

De acordo com Pinto e Preussler (2002, p. 13), a sub-base é constituída de material compactado e deve ter estabilidade, capacidade de suporte, capacidade de drenar água e pouca suscetibilidade às variações volumétricas. Geralmente usa-se nesta camada materiais granulares ou estabilizados.

Segundo Pinto e Preussler (2002, p. 14-15):

[...] adicionalmente às funções principais como camada estrutural, a sub-base tem algumas funções secundárias como:

- a) prevenir a intrusão ou bombeamento do solo do subleito na base [...];
- b) prevenir o acúmulo de água livre no pavimento [...];

- c) proporcionar uma plataforma de trabalho para os equipamentos pesados utilizados na fase de construção do pavimento.

Essa camada é utilizada, quando a camada de base projetada é muito espessa. Com a utilização de uma sub-base de menor custo, economiza-se no projeto, além de atender a função estrutural (BALBO, 2007, p. 38).

### 3.4 BASE

A base é a camada situada abaixo de revestimento e, devido as suas funções, exige-se materiais com especificações mais rigorosas em termos de resistência, plasticidade, graduação e durabilidade (PINTO; PREUSSLER, 2002, p. 15). Segundo Balbo (2007, p. 38) essa camada também pode “[...] desempenhar um papel importante na drenagem subsuperficial dos pavimentos.”, necessitando assim que os materiais empregados atendam a esta situação.

De acordo com Pinto e Preussler (2002, p. 15), a principal função da base é o suporte estrutural, promovendo a rigidez e a resistência à fadiga. Ainda, segundo esses autores, a base deve:

[...] reduzir as tensões de compressão no subleito e na sub-base a níveis aceitáveis, ou seja, deve distribuir as cargas aplicadas na superfície do pavimento de modo a minimizar ou eliminar as deformações de consolidação e cisalhamento no subleito e/ou sub-base.

Além disso, deve garantir que a magnitude das tensões de flexão no revestimento não o leve ao trincamento prematuro.

### 3.5 REVESTIMENTO

Conforme Pinto e Preussler (2002, p. 18), a camada de revestimento deve ser projetada para:

- a) resistir às forças abrasivas do tráfego;
- b) reduzir a penetração de água superficial no pavimento;
- c) proporcionar uma superfície resistente ao deslizamento dos veículos;
- d) proporcionar um rolamento suave e uniforme ao tráfego.

Além disso, para Balbo (2007, p. 36) o revestimento deve “[...] receber as cargas, estáticas ou dinâmicas, sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de

componentes ou, ainda, perda de compactação.”. Para que isso não aconteça e também não apareçam os afundamentos de trilhas de rodas, é importante que a compactação durante a construção do pavimento seja adequada (PINTO; PREUSSLER, 2002, p. 19).

Essa camada deve ser constituída de uma mistura de agregados com ótima graduação e porcentagem de ligante betuminoso, que deve ser projetada em laboratório para garantir a eficiência (PINTO; PREUSSLER, 2002, p. 18).

## 4 DEFEITOS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Conforme Bernucci et al. (2008, p. 403):

[...] do ponto de vista do usuário, o estado da superfície do pavimento é o mais importante, pois os defeitos ou irregularidades nessa superfície são percebidos uma vez que afetam seu conforto. Quando o conforto é prejudicado, significa que o veículo também sofre mais intensamente as consequências desses defeitos. Essas consequências acarretam maiores custos operacionais, relacionados a maiores gastos com peças de manutenção dos veículos, com consumo de combustível e de pneus, com o tempo de viagem etc.

Os defeitos podem aparecer devido a erros de projeto, na dosagem das misturas asfálticas, construtivos ou problemas na conservação das rodovias (BERNUCCI et al., 2008, p. 414). Ainda segundo estes autores, os erros de projeto mais comuns estão relacionados à dificuldade de prever o tráfego, a incompatibilidade estrutural entre as camadas, a concepção de projeto, que permita o aprisionamento de água na estrutura, e ao erro no dimensionamento estrutural.

Bernucci et al. (2008, p. 414) também citam como exemplos mais comuns de erros na dosagem a seleção incorreta de solos, a seleção imprópria de agregados, a dosagem incorreta do teor de ligante na mistura asfáltica, o uso de temperatura inadequada na usinagem das misturas, entre outros.

Tratando-se dos problemas construtivos (BERNUCCI et al., 2008, p. 414):

[...] destacam-se alguns exemplos: espessuras menores que as previstas em projeto; falta de compactação apropriada das camadas, causando deformações e afundamentos excessivos ou rupturas localizadas; técnica de compactação inadequada, com uso de equipamentos de baixa eficiência; compactação de misturas asfálticas em temperaturas inadequadas ou variabilidade de temperatura na massa asfáltica durante o processo de compactação; erros nas taxas de imprimação ou de pintura de ligação, entre outros.

Segundo Bernucci et al. (2008, p. 415), antes de se fazer uma projeto para corrigir ou minimizar um defeito, deve-se conhecer as causas, para assim estabelecer a melhor solução.

A seguir é feita uma descrição dos defeitos em pavimentos flexíveis, assim como a classificação destes problemas.

## 4.1 DEFEITOS DE SUPERFÍCIE

De acordo com Bernucci et al. (2008, p. 413):

[...] os defeitos de superfície são os danos ou deteriorações na superfície dos pavimentos asfálticos que podem ser identificados a olho nu e classificados [...]. O levantamento dos defeitos de superfície tem por finalidade avaliar o estado de conservação dos pavimentos asfálticos e embasa o diagnóstico da situação funcional para subsidiar a definição de uma solução tecnicamente adequada e, em caso de necessidade, indicar a melhor ou melhores alternativas de restauração do pavimento.

### 4.1.1 Fendas (F)

A Norma DNIT 005 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2003a, p. 2) define fenda como “[...] qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas, [...]”. As fendas “[...] podem ser classificadas como **fissuras**, quando a abertura é perceptível a olho nu apenas à distância inferior a 1,5m, ou como **trincas**, quando a abertura é superior à da fissura.”, conforme afirmam Bernucci et al. (2008, p. 415).

Bernucci et al. (2008, p. 415) ainda afirmam que “[...] a gravidade [das fendas] é caracterizada por **classe 1** (fendas com abertura não superior a 1mm), **classe 2** (fendas com abertura superior a 1 mm), e **classe 3** (fendas com abertura superior a 1 mm e desagregação ou erosão junto às bordas).”.

A tipologia das trincas são definidas por Bernucci et al. (2008, p. 415):

[...] as trincas isoladas podem ser: transversais curtas (TTC) ou transversais longas (TTL), longitudinais curtas (TLC) ou longitudinais longas (TLL), ou ainda de retração (TRR). As trincas interligadas são subdivididas em: trincas de bloco (TB) quando tendem a uma regularidade geométrica, ou ainda (TBE) quando as trincas de bloco apresentam complementarmente erosão junto às suas bordas; ou trincas tipo couro de jacaré (J) quando não seguem um padrão de reflexão geométrico de trincas como as de bloco e são comumente derivadas da fadiga do revestimento asfáltico, ou ainda (JE) quando as trincas tipo couro de jacaré apresentam complementarmente erosão junto às suas bordas.

### 4.1.2 Afundamentos (A)

De acordo com Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003a, p. 2), afundamento é a “[...] deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do

pavimento, acompanhada, ou não, de levantamento [levantamento lateral ao eixo da rodovia], podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação.”.

#### 4.1.2.1 Afundamento plástico

Segundo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003a, p. 3), o afundamento plástico é:

[...] causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de levantamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento plástico local [ALP]; quando a extensão for superior a 6 m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico da trilha de roda [ATP].

#### 4.1.2.2 Afundamento de consolidação

Para Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003a, p. 3):

[...] afundamento de consolidação é causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de levantamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento de consolidação local [ALC]; quando a extensão for superior a 6m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento de consolidação da trilha de roda [ATC].

### **4.1.3 Ondulação ou corrugação (O)**

Segundo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003a, p. 3), ondulação ou corrugação (O), trata-se de “[...] deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento.”.

### **4.1.4 Escorregamento (E)**

A Norma DNIT 005 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2003a, p. 3) define escorregamento como “[...] deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua.”.

#### **4.1.5 Exsudação (EX)**

Exsudação é o “[...] excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento.” (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2003a, p. 3). Segundo Bernucci et al. (2008, p. 416), a exsudação é caracterizada pelo aparecimento de manchas escurecidas no revestimento.

#### **4.1.6 Desgaste (D)**

Segundo a Norma DNIT 005 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2003a, p. 3), o desgaste é definido como “[...] efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.”.

#### **4.1.7 Panela ou buraco (P)**

Panela ou buraco (P) é definido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003a, p. 3) como a “[...] cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas.”.

#### **4.1.8 Remendo (R)**

Remendo é um defeito caracterizado por uma “[...] panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de 'tapa-buraco'.” (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2003a, p. 3). O órgão ainda classifica os remendos em profundos e superficiais.

Segundo Bernucci et al. (2008, p. 416), existem outros tipos de defeitos superficiais que devem ser considerados na restauração de pavimentos. São eles:

- a) escorregamento do revestimento asfáltico;
- b) polimento dos agregados;

- c) bombeamento de finos;
- d) trincas de borda;
- e) trincas parabólicas;
- f) desnível entre pista e acostamento;
- g) marcas impressas na superfície;
- h) elevação por expansão;
- i) elevação causadas por raízes de árvores.

## 4.2 IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

Para Pinto e Preussler (2002, p. 39), “[...] conceitua-se irregularidade longitudinal de um pavimento, [...], como o conjunto dos desvios da superfície viária em relação a um plano de referência, desvios estes que afetam a qualidade do rolamento, a dinâmica dos veículos e a ação dinâmica das cargas sobre a via.”.

Segundo Bernucci et al. (2008, p. 408):

[...] a irregularidade pode ser levantada com medidas topográficas ou por equipamentos medidores do perfil longitudinal com ou sem contato, ou ainda indiretamente avaliada por equipamentos do tipo “resposta”, que fornecem um somatório de desvios do eixo de um veículo em relação à suspensão.

Esses equipamentos fornecem medidas de irregularidade em diversas escalas, porém a escala de referência transferível para todos os equipamentos é a escala IRI (m/km) (*International Roughness Index*) (PINTO; PREUSSLER, 2002, p. 41).



## 5 AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006, p. 117), para se desenvolver uma alternativa de restauração deve-se fazer uma avaliação do pavimento, utilizando dados condensados sobre os defeitos de superfície, irregularidade, segurança, condição estrutural e tráfego.

Este Manual do DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006, p. 122) ainda informa que:

[...] os dados coletados são fundamentais para a avaliação e o projeto da restauração devido aos seguintes fatores:

- a) fornecem informações qualitativas para determinação das causas da deterioração e para o desenvolvimento de alternativas apropriadas no reparo do defeito e na prevenção da sua recorrência;
- b) fornecem informações quantitativas para estimativa de quantidades dos serviços de restauração (mão-de-obra, materiais, etc.), dimensionamento da alternativa de restauração (espessura de reforço), avaliação do estágio de deterioração e das consequências de postergar a restauração e ainda executar avaliação econômica de alternativas de restauração.

Dentre os métodos de avaliação das condições de degradação dos pavimentos flexíveis, pode-se destacar três, ou seja, avaliação:

- a) objetiva da superfície de pavimentos asfálticos;
- b) subjetiva da superfície de pavimentos asfálticos;
- c) estrutural do pavimento asfáltico.

### 5.1 AVALIAÇÃO OBJETIVA DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

De acordo com Pinto e Preussler (2002, p. 45), a avaliação objetiva da superfície de pavimentos asfálticos é:

[...] procedimento que fixa as condições de avaliação da superfície de pavimentos, mediante a contagem e classificação das ocorrências de defeitos e da medida de deformações permanentes nas trilhas de roda. Os defeitos considerados são fundamentalmente: trincas, ondulações, remendos, exudações, afundamentos

plásticos, desgastes e buracos. Por outro lado, são também consideradas as deformações permanentes verificadas nas trilhas de roda da superfície do pavimento, [...].

Este parâmetro é denominado de Índice de Gravidade Global (IGG) (PINTO; PREUSSLER, 2002, p. 45).

## 5.2 AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (2003b, p. 2) conceitua serventia atual como “[...] capacidade de um trecho específico de pavimento de proporcionar, na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego.”. O DNIT também estabelece que Valor de Serventia Atual (VSA) é a

[...] medida subjetiva das condições de superfície de um pavimento, feita por um grupo de avaliadores que percorrem o trecho sob análise, registrando suas opiniões sobre a capacidade do pavimento de atender às exigências do tráfego que sobre ele atua, no momento da avaliação, quanto à suavidade e ao conforto.

Segundo Bernucci et al. (2008, p. 404), o VSA é “[...] uma atribuição numérica compreendida em uma escala de 0 a 5, dada pela média de notas de avaliadores para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em um determinado trecho, em um dado momento da vida do pavimento.”. De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003b, p. 2), cada avaliador atribui uma nota usando a ficha de avaliação de serventia (anexo A).

Ainda, de acordo com a Norma DNIT 009 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2003b, p. 4), o resultado do VSA para cada trecho é obtido através da fórmula 1:

$$VSA = \frac{\sum X}{n_a} \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

VSA = Valor de Serventia Atual;

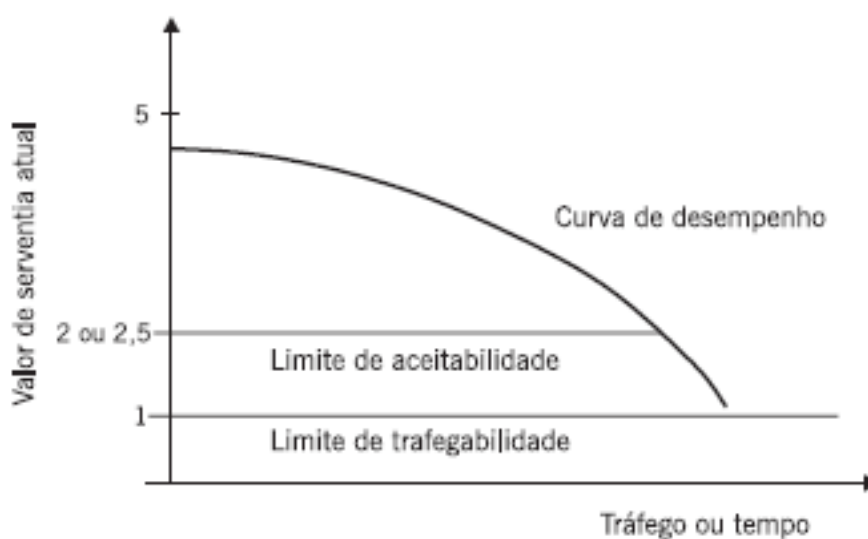
X = Valores de Serventia Atuais individuais atribuídos por cada integrante do grupo de avaliadores;

$n_a$  = número de avaliadores.

A Norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003b, p. 4) ainda inclui a seguinte observação: “[...] para a determinação do Valor de Serventia Atual, devem ser escolhidos, previamente, trechos homogêneos, com extensão máxima de 2 quilômetros, após rápida inspeção prévia pela equipe de avaliadores.”.

De acordo com Bernucci et al. (2008, p. 404), o VSA é elevado somente logo após a construção do pavimento, porém o valor máximo não é encontrado na prática. Os autores também afirmam que “[...] o VSA do pavimento diminui com o passar do tempo por dois fatores: o tráfego e as intempéries. A forma da curva de serventia com o tempo decorrido de utilização da via é mostrada esquematicamente na figura [...] [2].”.

Figura 2 – Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido da utilização da via



(fonte: BERNUCCI et al., 2008, p. 405)

### 5.3 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO ASFÁLTICO

Para Bernucci et al. (2008, p. 441), “[...] os pavimentos são estruturas que em geral não apresentam ruptura súbita, mas sim deterioração funcional e estrutural acumuladas a partir de sua abertura ao tráfego. A parcela estrutural é associada aos danos ligados à capacidade de carga do pavimento [...]”. Os autores ainda afirmam que

[...] a avaliação estrutural, [...] 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, medidos por meio de treliça normatizada, [...].

A avaliação estrutural pode ser destrutiva, semidestrutiva ou não-destrutiva. Na avaliação destrutiva, se abre trincheiras ou poços de sondagem em alguns pontos do segmento avaliado, se recolhe amostras de cada camada e se faz ensaios de capacidade de carga *in situ*. Com as amostras, se verifica os materiais e as espessuras das camadas (BERNUCCI et al., 2008, p. 443).

Segundo Trichês e Cardoso<sup>2</sup> (2001 apud BERNUCCI et al., 2008, p. 443) e Trichês et al.<sup>3</sup> (2004 apud BERNUCCI et al., 2008, p. 443) o método semidestrutivo é “[...] aquele que se vale de aberturas menores de janelas no pavimento que permitam utilizar um instrumento portátil de pequenas dimensões para avaliar a capacidade de carga de um pavimento, tal como o uso de cones dinâmicos de penetração – DCP [...]”.

Para as grandes extensões de pistas, o método mais adequado para avaliação estrutural é o não-destrutivo, que mede deflexões (BERNUCCI et al., 2008, p. 443). Esse método se vale da definição apresentada no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006, p. 80-81):

[...] a atuação de uma carga de tráfego produz em um pavimento, [...], deformações de caráter transitório. A magnitude destas deformações é variável e dependente não só da geometria do carregamento, do valor da carga e da pressão de inflação do pneu, como também da posição do ponto de medida em relação à posição da carga.

De acordo com Bernucci et al. (2008, p. 445):

[...] os equipamentos utilizados em avaliações não-destrutivas (NDT – *nondestructive deflection testing*) podem ser divididos em:

- a) carregamento quase-estático: ensaio de placa e viga Benkelman, por exemplo;
- b) carregamento vibratório: *dynaflect*, por exemplo;
- c) carregamento por impacto: *falling weight deflectometer* (FWD).

Os equipamentos mais utilizados no Brasil são (BERNUCCI et al., 2008, p. 445-446):

- a) viga Benkelman;
- b) *falling weight deflectometer* – FWD.

Bernucci et al. (2008, p. 446) ainda afirmam que:

[...] com esses equipamentos são medidos os seguintes parâmetros:

<sup>2</sup> TRICHÊS, G.; CARDOSO, A. B. Avaliação da capacidade de aterros e subleitos de rodovias e utilizando o penetrômetro dinâmico de cone e a viga Benkelman. In: TRANSPORTE em transformação. São Paulo: Makron Books, 2001. v. 1. p. 35-49.

<sup>3</sup> TRICHÊS, G.; FONTES, L. P. T. L.; DAL PAI, C. M. Procedimentos técnicos para o emprego do cone de penetração e investigação de pavimentos urbanos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 35., 2004, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABPv, 2004. v.1. p. 1-13.

- a) deflexão máxima: deslocamento sob o centro de carga (FWD) ou sob o centro das rodas duplas de um eixo simples (viga Benkelman), sendo a deflexão normalmente expressa em  $10^{-2}$  mm ( $d_0$ );
- b) raio de curvatura: círculo ou arco de parábola que passa por dois pontos da deformada (viga Benkelman), normalmente sob a carga e a 25 cm do centro da mesma ( $d_0$  e  $d_{25}$ );
- c) deformada, bacia de deformação ou bacia deflectométrica: medidas dos deslocamentos elásticos ou recuperáveis em vários pontos a partir do centro do carregamento ( $d_0$ ,  $d_{25}$ ,  $d_{50}$  etc.).

Bernucci et al. (2008, p. 446) também indicam que:

[...] a viga Benkelman consiste de um equipamento muito simples que necessita de um caminhão com eixo traseiro simples de roda dupla carregado com 8,2t, para aplicar a carga sob a qual será medida a deformação elástica. [...].

O ensaio completo consiste em: (i) colocar a ponta de prova da viga Benkelman entre os pneus da roda geminada traseira do caminhão, colocando-a exatamente sob o seu eixo; (ii) fazer uma leitura inicial do extensômetro que se situa a uma distância segura para o operador sobre o braço móvel da viga – leitura  $L_i$ ; (iii) fazer o caminhão se afastar lentamente até 10m de distância da ponta de prova ou até que o extensômetro não acuse mais variação da leitura; (iv) ler o extensômetro – leitura  $L_f$ .

Desta forma pode-se calcular a deflexão  $d_0$  através da fórmula 2 (BERNUCCI et al., 2008, p. 446):

$$d_0 = (L_i - L_f) \times K \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

$d_0$  = deflexão máxima ( $10^{-2}$  mm);

$L_i$  = leitura inicial do extensômetro ( $10^{-2}$  mm);

$L_f$  = leitura final do extensômetro ( $10^{-2}$  mm);

$K$  = constante da viga dada pela relação entre o braço maior e o braço menor.

Para Bernucci et al. (2008, p. 447) o raio de curvatura é calculado de acordo com a fórmula 3:

$$R = 6250 / (2 \times (d_0 - d_{25})) \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

R = raio de curvatura (m);

$d_0$  = deflexão máxima ( $10^{-2}$  mm);

$d_{25}$  = deflexão à 25 cm do eixo da carga ( $10^{-2}$  mm).

Já o FWD é descrito como um equipamento que mede os deslocamentos causados pelo impacto de um peso que cai de certa altura, sobre amortecedores que comunicam o choque a uma placa metálica ligada ao pavimento (BERNUCCI et al., 2008, p. 448). Os autores explicam que “[...] o ensaio consiste em se aplicar a carga de impacto e ler os deslocamentos em vários sensores colocados ao longo de um suporte em posições convenientemente escolhidas para se obter a linha de deslocamentos.”.

## 6 DIMENSIONAMENTO DO REFORÇO PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Segundo Pinto e Preussler (2002, p. 181), “[...] o reforço por meio de camada asfáltica adicional ou recapeamento é o procedimento mais utilizado na reabilitação de pavimentos. Este tipo de reforço pode ser utilizado tanto para corrigir defeitos estruturais como funcionais.”.

Existem vários métodos e procedimentos para dimensionar o reforço de um pavimento, porém não existe um que seja adequado para todas as situações. Além da escolha do método, antes de dimensionar o reforço, é importante dividir o pavimento em segmentos homogêneos, baseado na idade, tráfego, condições do pavimento e sua estrutura (PINTO; PREUSSLER, 2002, p. 181).

Os métodos de dimensionamento podem ser classificados em três formas (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006, p. 130) segundo tenham uma abordagem:

- a) empírica defletométrica;
- b) empírica da deficiência estrutural;
- c) mecanístico-empírica.

### 6.1 ANÁLISE DEFLETOMÉTRICA

Para Pinto e Preussler (2002, p. 182), os procedimentos fundamentados na análise defletométrica:

[...] baseiam-se no estabelecimento de uma relação entre a duração da vida do pavimento (ou número de solicitações do tráfego) e os valores de deflexão máxima que usualmente são obtidos sob carregamento. A espessura do reforço deve ser necessária para reduzir a deflexão recuperável a um valor admissível, que corresponde a um comportamento comprovadamente satisfatório, considerando o tráfego previsto.

Pinto e Preussler (2002, p. 182) ainda afirmam que



[...] o conceito básico deste enfoque é que, quanto maior for o valor de deflexão recuperável, maior é o comprometimento elástico das camadas do pavimento e/ou do subleito. Desta maneira, uma camada asfáltica adicional deve ser utilizada para reforçar a estrutura do pavimento e obter uma adequada redução da deflexão.

O método normalizado, baseado neste tipo de análise, que cabe destacar é o DNER-PRO 11/79. Segundo Pinto e Preussler (2002, p. 195), “[...] esse método fundamenta-se em que a deflexão máxima admissível ( $d_{adm}$ ) para um pavimento flexível é função apenas do tráfego que o solicita, não dependendo das características da estrutura do pavimento.”.

Ainda de acordo com Pinto e Preussler (2002, p. 196), “[...] a equação para determinação de  $d_{adm}$ , [...], corresponde a deflexões medidas com a carga padrão de 8,2 tf por eixo [...]” (fórmula 4):

$$\log d_{adm} = 3,01 - 0,175 \log N \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde:

$d_{adm}$  = deflexão máxima admissível ( $10^{-2}$  mm);

N = número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão calculado para o período de projeto.

Pinto e Preussler (2002, p. 196) também apresentam no quadro 1 os critérios para o estabelecimento das diretrizes de projeto.

Enfim, o dimensionamento da camada de reforço do pavimento, pelo método DNER-PRO 11/79, se dá por meio da fórmula 5 (PINTO; PREUSSLER, 2002, p. 197).

$$h_{CB} = k \times \log (d_p / d_{adm}) \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

$h_{CB}$  = espessura de reforço em concreto asfáltico (cm);

$d_p$  = deflexão de projeto, sob carga de 8,2 tf (0,01 mm);

$d_{adm}$  = deflexão admissível do reforço (0,01 mm);

k = fator de redução da deflexão (k = 40 para concreto asfáltico).

Quadro 1 – Critérios para o estabelecimento das diretrizes de projeto

Hipótese	Dados deflectométricos obtidos	Qualidade estrutural	Necessidade de estudos complementares	Critério para cálculo do reforço	Medidas corretivas
I	$d_p \leq d_{adm}$ $R \geq 100$ m	Boa	Não	-	Apenas correções de superfície
II	$d_p > d_{adm}$ $R \geq 100$ m	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	$d_p > d_{adm}$ $R < 100$ m	Regular para má	Sim	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
IV	$d_p > d_{adm}$ $R < 100$ m	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução
V	-	Má O pavimento apresenta deformações permanentes e rupturas plásticas generalizadas. (IGG > 160)	Sim	Resistência	Reconstrução

(fonte: PINTO; PREUSSLER, 2002, p. 196)

## 6.2 ANÁLISE DA DEFICIÊNCIA ESTRUTURAL

Segundo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006, p. 131):

[...] a análise da deficiência estrutural, também conhecida como metodologia da espessura equivalente, tem seu conceito básico fundamentado na consideração de que a espessura do reforço deve ser a diferença entre a espessura total requerida para o pavimento e a “espessura equivalente ou efetiva” determinada para o pavimento existente. Essa espessura equivalente ou efetiva do pavimento existente é determinada por meio dos fatores de equivalência estrutural adotados em função do tipo e qualidade dos materiais utilizados na estrutura do pavimento.

Este procedimento, de acordo com Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006, p. 132), considera:

[...] que a degradação do pavimento provoca a redução da vida de serviço, ou seja, que sua espessura efetiva vai diminuindo a medida que sua vida de serviço avança. Como a espessura efetiva ou equivalente baseia-se no tipo, condição e espessura de

cada camada componente do pavimento, a metodologia é também denominada como a da análise das camadas.

### 6.3 ABORDAGEM MECANÍSTICO-EMPÍRICO

Para Pinto e Preussler (2002, p. 184)

O emprego de análises mecánísticas no projeto de reforços apresenta a vantagem de proporcionar ao projetista condições de trabalhar com parâmetros específicos da estrutura em estudo, apresentando maior flexibilidade em relação aos métodos empíricos. Permite ainda a interpretação racional do comportamento elástico dos pavimentos, com as mais variadas composições de materiais de reforço e quando sujeitos a ação dos diversos tipos de carregamentos.

A análise mecánística é um poderoso ferramental para se efetuar um dimensionamento adequado, apesar de se enfrentar dificuldades que a colocam em risco, como a confiabilidade de dados, principalmente quanto às características elásticas dos materiais das camadas, e quanto a previsão da deterioração por alguns critérios empíricos de fadiga, além da interpretação correta dos resultados obtidos.

Deste tipo de abordagem, é importante destacar o método DNER-PRO 269/94. Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006, p. 157), “[...] o procedimento é fundamentado em modelos de fadiga de misturas betuminosas, no comportamento resiliente típico de solos finos e materiais granulares e no cálculo de tensões e deformações considerando a teoria da elasticidade não linear.”.

Ainda de acordo com Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006, p. 157), antes de se fazer o dimensionamento com este método, é necessário fazer a determinação da deflexão recuperável, levantar a condição do pavimento e efetuar sondagens. O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006, p. 157) estabelece também que

[...] as amostras coletadas na sondagem são conduzidas ao laboratório para ensaios de caracterização, granulometria e CBR. Os solos são classificados em três grupos quanto a sua resiliência, em função de seu Índice de Suporte Califórnia CBR e de sua porcentagem de silte (S), [...].

Para esta classificação dos solos utiliza-se a tabela 1 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006, p. 157).

Tabela 1 – Classificação dos solos

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

(fonte: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006, p. 157)

O dimensionamento do reforço do pavimento deve seguir as seguintes etapas (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006, p. 158):

- a) definição da espessura de revestimento existente, da deflexão característica (formula 6), da espessura da camada granular (Hcg) e o tipo de solo do subleito;
- b) representação da camada existente, conforme figura 3;
- c) cálculo da espessura efetiva ( $h_{ef}$ ) do revestimento, conforme fórmula 7;
- d) cálculo da deflexão máxima permissível, através da fórmula 8;
- e) cálculo da espessura de reforço (HR), de acordo com a fórmula 9;
- f) determinação das soluções de recapeamento.

O cálculo da deflexão característica de projeto deve ser feito através da fórmula 6 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1994, p. 11):

$$D_c = \bar{D} + \sigma \quad (\text{fórmula 6})$$

Onde:

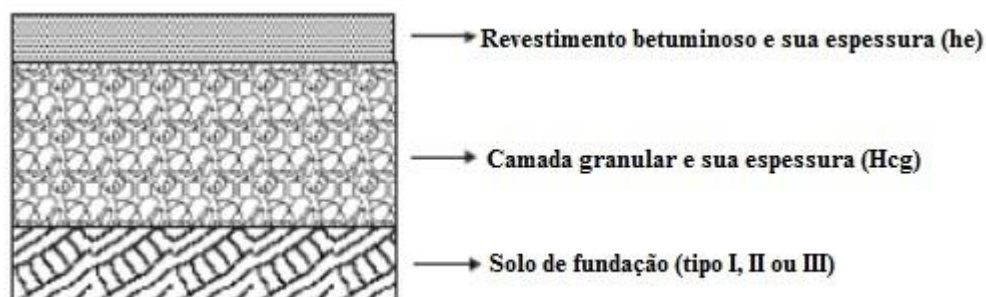
$D_c$  = deflexão característica de projeto (0,01 mm);

$\bar{D}$  = média aritmética das deflexões de campo (0,01 mm);

$\sigma$  = desvio padrão das deflexões de campo (0,01 mm).

A estrutura do pavimento existente deve ser representada conforme a figura 3 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006, p. 158).

Figura 3 – Estrutura de referência do pavimento



(fonte: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006, p. 158)

A espessura efetiva do revestimento asfáltico deve ser calculada através da fórmula 7 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1994, p. 11-12):

$$h_{ef} = -5,737 + (807,961/D_c) + 0,972 I_1 + 4,101 I_2 \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde:

$h_{ef}$  = espessura efetiva (cm);

$D_c$  = deflexão característica (0,01mm);

$I_1$  e  $I_2$  = constantes relacionadas às características resilientes da terceira camada da estrutura de referência.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006, p. 158-159):

As constantes  $I_1$  e  $I_2$  estão relacionadas com as características resilientes da 3.ª camada da estrutura de referência e de acordo com os seguintes casos:

a) caso 1 – espessura da camada granular inferior ou igual a 45 cm,

- quando a 3.ª camada for do tipo I:  $I_1 = 0$  e  $I_2 = 0$ ;

- quando a 3.ª camada for do tipo II:  $I_1 = 1$  e  $I_2 = 0$ ;

- quando a 3.ª camada for do tipo III:  $I_1 = 0$  e  $I_2 = 1$ ;

b) caso 2 – espessura da camada granular é maior que 45 cm:  $I_1 = 0$  e  $I_2 = 1$ ;

c) caso 3 – espessura efetiva deve estar compreendida entre  $0 \leq h_{ef} \leq h_e$ ,

- se:  $h_{ef} < 0$ , adotar  $h_{ef} = 0$ ;

- se:  $h_{ef} > h_e$ , adotar  $h_{ef} = h_e$ ;

d) caso 4 – se o grau de trincamento do revestimento existente for superior a 50% ou ( $FC-2 + FC-3 > 80\%$ ) ou ( $FC-3 > 30\%$ ), então é conveniente adotar  $h_{ef} = 0$  e considerar a solução de recapeamento em camadas integradas de CBUQ [concreto betuminoso usinado à quente] e PMF [pré misturado à frio].

O cálculo da deflexão máxima permissível do projeto deve ser feito através da fórmula 8 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1994, p. 12):

$$\log D_m = 3,148 - 0,188 \log N_p \quad (\text{fórmula 8})$$

Onde:

$D_m$  = deflexão máxima admissível (0,01 mm);

$N_p$  = número de solicitações de eixo padrão de 8,2 t, durante a vida do projeto.

A espessura do reforço em concreto asfáltico é dimensionada de acordo com a fórmula 9 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1994, p. 12-13):

$$HR = -19,015 + (238,14/\sqrt{D_m}) - 1,357 h_{ef} + 1,016 I_1 + 3,893 I_2 \quad (\text{fórmula 9})$$

Onde:

HR = espessura da camada de reforço em concreto asfáltico, em cm;

$D_m$  = deflexão máxima admissível (0,01 mm);

$h_{ef}$  = espessura efetiva (cm);

$I_1$  e  $I_2$  = constantes relacionadas às características resilientes da terceira camada da estrutura de referência.

De acordo com Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994, p. 13), existem cinco casos para as soluções de recapeamento, como por exemplo, camada única de CBUQ, camadas integradas de CBUQ e pré misturado à frio ou até casos com restrição econômica.

O DNER-PRO 269/94 também contempla o dimensionamento do reforço considerando o uso de mistura reciclada (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006, p. 159).

## 7 TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

De acordo com Bernucci et al. (2008, p. 463), a definição da técnica de restauração, que é aplicada em cada caso de reabilitação de pavimento asfáltico, deve ser baseada nas análises de dados das avaliações estrutural e funcional do trecho estudado. Desta forma, as técnicas de restauração podem ser de cunho funcional ou estrutural.

### 7.1 TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO FUNCIONAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Segundo Bernucci et al. (2008, p. 466):

[...] quando não existem problemas estruturais e a restauração é necessária para a correção de defeitos funcionais superficiais, são empregados geralmente os tipos de revestimentos a seguir, isoladamente ou combinados e antecedidos ou não por uma remoção de parte do revestimento antigo por fresagem:

- a) lama asfáltica [...];
- b) tratamento superficial simples [...] ou duplo [...];
- c) microrrevestimento asfáltico a frio [...] ou quente [...];
- d) concreto asfáltico;
- e) mistura do tipo camada porosa de atrito [...], SMA ou misturas descontínuas [...].

Bernucci et al. (2008, p. 467-468) também citam as combinações de técnicas mais utilizadas para restauração dos pavimentos.

- a) reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina + camada porosa de atrito;
- b) microrrevestimento asfáltico + camada porosa de atrito (o microrrevestimento tem função de reduzir a reflexão de trincas e impermeabilizar o revestimento antigo);
- c) remoção por fresagem + reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina + microrrevestimento (quando a superfície antiga apresenta grau elevado de trincamento e/ou desagregação e existe condição de ação abrasiva acentuada do tráfego);
- d) remoção por fresagem + reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina + tratamento superficial simples + microrrevestimento a frio (quando a superfície



antiga apresenta grau elevado de trincamento e a superfície nova necessita de melhor condição de rolamento, proporcionada pelo microrrevestimento, e de liberação da pista com menor arrancamento de agregados possível);

- e) remoção por fresagem + reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina + camada porosa de atrito (quando a superfície apresenta grau elevado de trincamento e/ou desagregação e existe necessidade de boa aderência e escoamento superficial);
- f) remoção por fresagem + microrrevestimento asfáltico + camada porosa de atrito (quando a superfície apresenta grau elevado de trincamento e/ou desagregação. O microrrevestimento tem a função de reduzir a reflexão de trincas e impermeabilizar a camada antiga, e a camada porosa de atrito a de aderência e escoamento superficial).

## 7.2 TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

De acordo com Bernucci et al. (2008, p. 468), quando o pavimento está degradado estruturalmente, é necessário incorporar novas camadas que incrementem a capacidade estrutural. Para estes autores, os tipos de revestimentos usados nestas situações são:

- a) concreto asfáltico;
- b) pré-misturado a quente + concreto asfáltico;
- c) concreto asfáltico + SMA;
- d) SMA e outras misturas asfálticas de granulometria descontínua;
- e) tratamento superficial duplo ou microrrevestimento + concreto asfáltico.

Bernucci et al. (2008, p. 468) recomendam a remoção por fresagem, antes da execução do reforço, para retardar a reflexão de trincas. Ainda para evitar a reflexão das trincas, os autores citem outras medidas possíveis:

- a) emprego de geossintéticos, entre o pavimento existente e o reforço;
- b) execução de camadas intermediárias de alívio de tensões, as chamadas de SAMI (*stress absorbing membrane interlayer*), entre o pavimento existente e o reforço;
- c) execução de camada granular entre o pavimento existente e o reforço para dissipar as trincas;
- d) aumentar a espessura da camada de reforço;
- e) empregar a reciclagem do pavimento existente;
- f) utilizar ligantes modificados com polímero na camada de reforço.

## 8 SITUAÇÃO ATUAL DO TRECHO

Este projeto foi elaborado para o trecho da rodovia ERS-122, entre o município de Antônio Prado e a localidade de Samuel no Rio Grande do Sul (figura 4). Esse trecho tem uma extensão de 42,24 km e está incluso no 2º Lote do programa CREMA.

Figura 4 – Localização do trecho da rodovia ERS-122



(fonte: adaptado de DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM, 2012, p. 6)

Para elaboração do projeto de reabilitação do pavimento desse trecho foram utilizados os dados de campo levantados pelo DAER-RS. A seguir são apresentadas as análises dos dados de tráfego, VSA, IRI, ATR e deflexões.

## 8.1 TRÁFEGO (NÚMERO N)

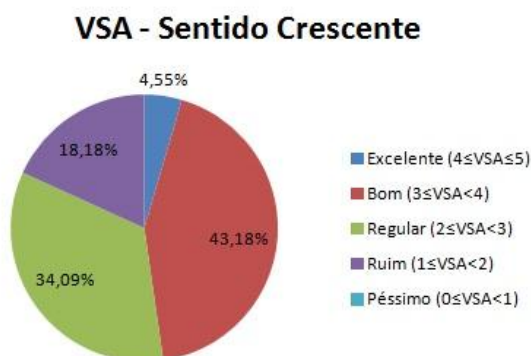
A estimativa do número N para o trecho da Rodovia ERS-122 foi determinado pelo DAER-RS, conforme anexo B, considerando a contagem de tráfego realizada em 2011 e a taxa de crescimento de 6% ao ano.

Para o projeto de reabilitação de pavimento desse trecho foi adotado um período de projeto de 10 anos, utilizando desta forma  $3,46 \times 10^7$  como número N de projeto.

## 8.2 VALOR DE SERVENTIA ATUAL (VSA)

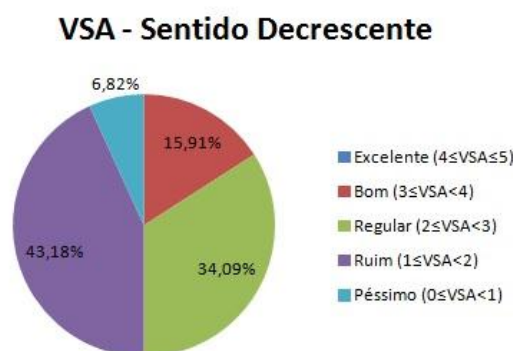
Os valores de VSA foram atribuídos por um grupo de avaliadores conforme descrito no item 5.2 deste trabalho. A partir das notas e observando a escala de aceitabilidade do valor de serventia atual, verifica-se a situação do trecho conforme avaliação subjetiva segundo as figuras 5 e 6.

Figura 5 – VSA atribuído no sentido crescente



(fonte: elaborada pela autora)

Figura 6 – VSA atribuído no sentido decrescente



(fonte: elaborada pela autora)

Desses gráficos pode-se observar que o sentido decrescente do estaqueamento está em situação mais crítica quanto ao conforto e a segurança, porém somente 6,82% desse sentido está em péssima situação. A planilha de campo com os valores de VSA para cada quilômetro está apresentada no anexo C.

### 8.3 IRREGULARIDADE LONGITUDINAL (IRI)

A irregularidade longitudinal do trecho foi levantada com um perfilômetro inercial (tipo barra laser) a cada 200 m. Um exemplo da planilha com os dados de campo de IRI (m/km) está apresentado no anexo D.

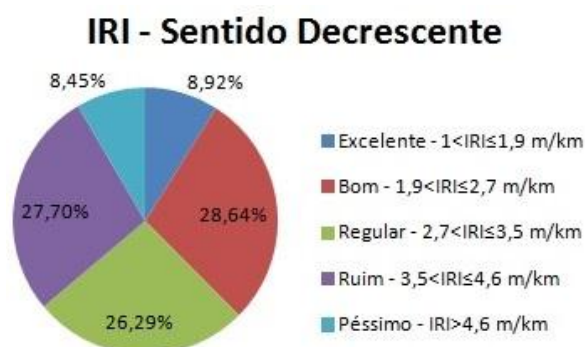
A partir desses dados de irregularidade longitudinal, pode-se avaliar o trecho conforme as figuras 7 e 8.

Figura 7 – IRI sentido crescente



(fonte: elaborada pela autora)

Figura 8 – IRI sentido decrescente



(fonte: elaborada pela autora)

De acordo com esses gráficos, conclui-se que aproximadamente 40% do pavimento encontra-se em situação ruim ou péssima quanto a irregularidade longitudinal.

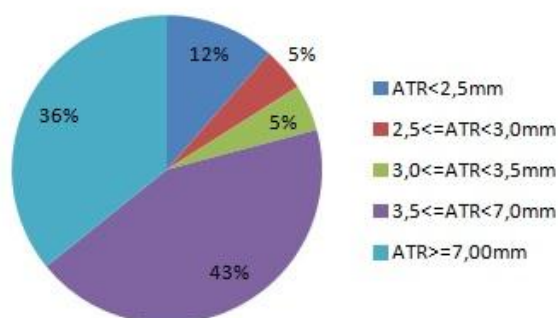
### 8.4 AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA (ATR)

Os afundamentos de trilha de roda foram levantados com um perfilômetro inercial (barra laser) a cada 10 metros. Um exemplo dos valores de campo encontram-se no anexo E.

Com os dados de campo, fez uma avaliação do trecho conforme as figuras 9 e 10.

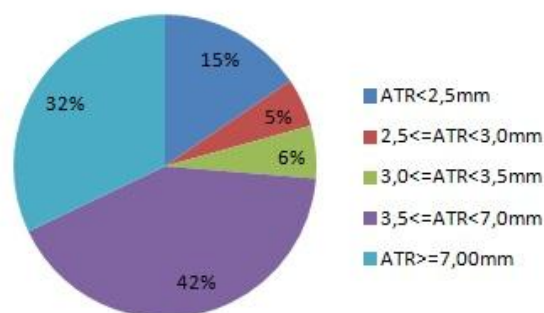
Observando-se os dados de ATR conclui-se que este é o maior problema deste pavimento: mais de 30% deste trecho da rodovia ERS-122 possui afundamentos de trilha de roda maior que 7 mm, o que torna o trecho muito inseguro para os usuários. Além disso, esses dados chamam a atenção para o tipo de técnica de reabilitação que deve ser empregada.

Figura 9 – ATR sentido crescente

**ATR - Sentido Crescente**

(fonte: elaborada pela autora)

Figura 10 – ATR sentido decrescente

**ATR - Sentido Decrescente**

(fonte: elaborada pela autora)

## 8.5 SONDAGENS

Foram realizadas algumas sondagens no pavimento para identificar as espessuras das camadas existentes no trecho, no final de agosto de 2013. Na tabela 2 são apresentados os resultados dessas sondagens.

Tabela 2 – Espessuras das camadas constituintes do pavimento

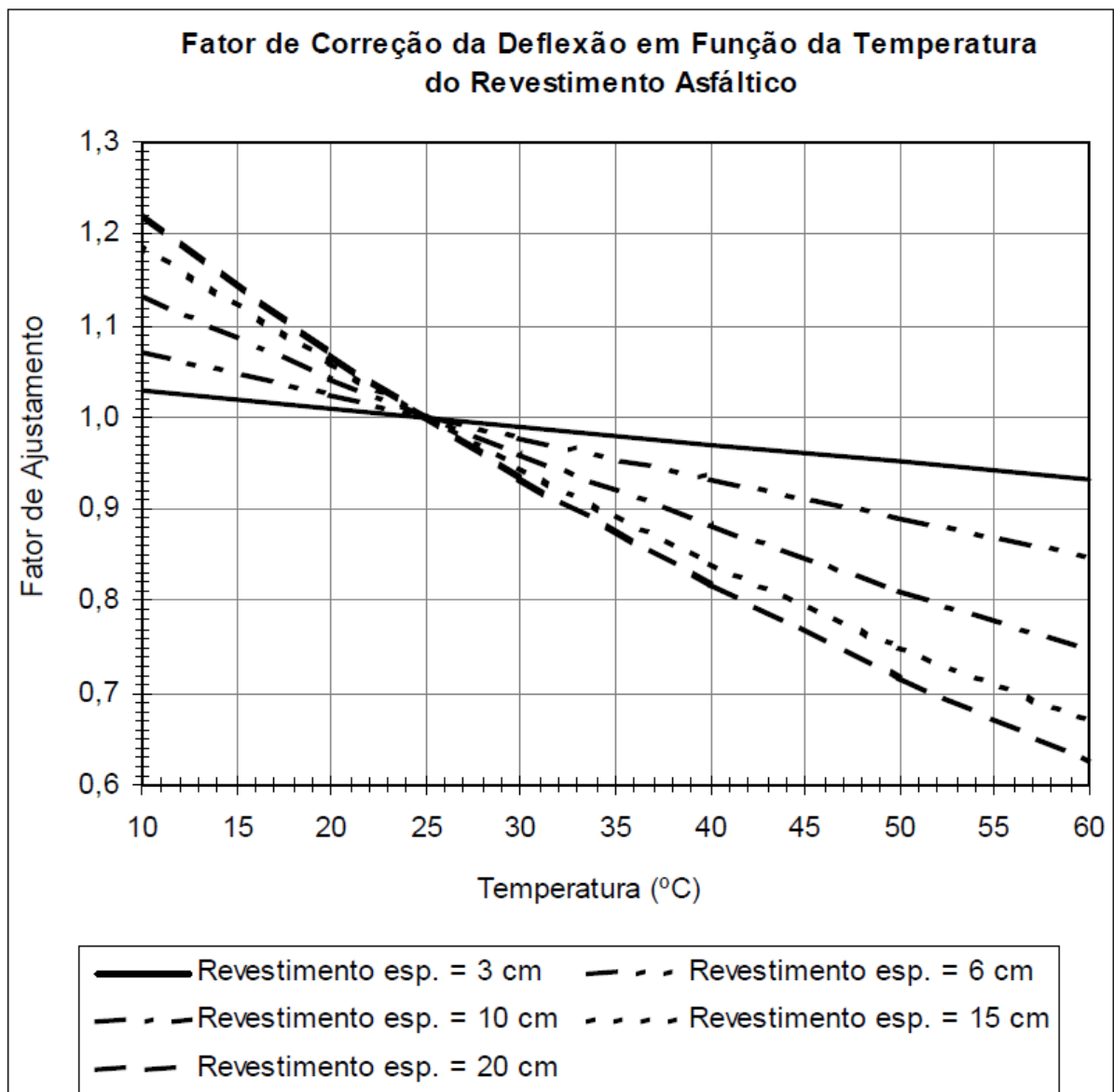
Local (km)	128	132	134	136 e 142	147	153 e 158	160 e 164
Concreto Asfáltico (cm)	7	10	10	8	10	10	10
Brita Graduada (cm)	20	20	20	20	20	20	20
Rachão (cm)	15	15	-	-	-	-	15

(fonte: dados fornecidos pelo DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM-RS)

## 8.6 DEFLEXÕES

As deflexões foram medidas com auxílio de viga Benkelman ( $K=2,00$ ) no final do mês de julho de 2013. Nesta época as temperaturas eram muito baixas na região, então considerou-se que a temperatura do pavimento era de  $10^{\circ}\text{C}$ . Portanto, foi necessário fazer uma correção nas deflexões medidas, conforme recomendação da figura 11, utilizando como espessura do revestimento 10 cm, visto que a maioria dos locais de sondagem apresentaram essa dimensão de espessura de camada. Desta forma, o fator de correção das deflexões é 1,13.

Figura 11 – Fator de correção da deflexão em função da temperatura do pavimento asfáltico

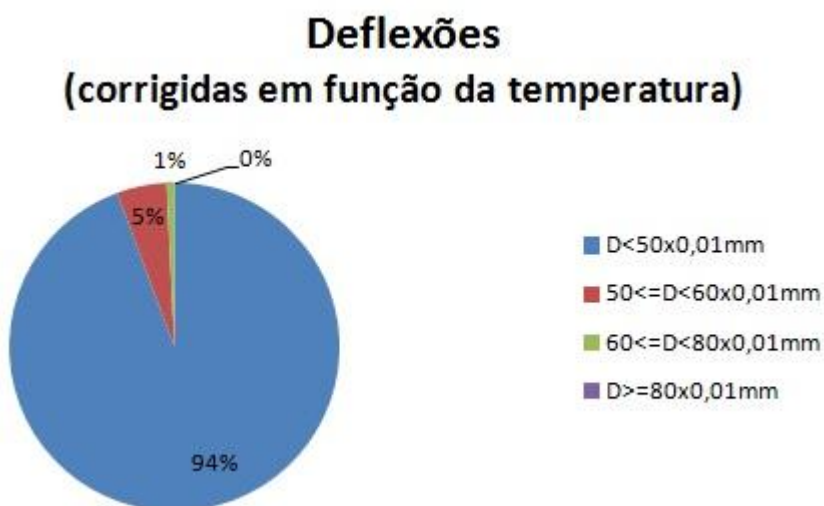


(fonte: DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM, 2006, p. 26)

De acordo com os dados das deflexões medidas em campo (anexo F), pode-se fazer uma análise da situação estrutural do pavimento conforme figura 12.

A partir do número N de projeto e da fórmula 8 (capítulo 6) calculou-se a deflexão máxima admissível para que este trecho atenda as funções estruturais até o final do período de projeto, chegando-se ao valor  $53,77 \times 10^{-2}$  mm. Desta forma, observa-se que 94 % do pavimento tem valores de deflexões, medidas com Viga Benkelman, menores que a deflexão máxima admissível.

Figura 12 – Deflexões medidas com Viga Benkelman



(fonte: elaborada pela autora)

Conforme a análise das deflexões, pode-se afirmar que o pavimento possui capacidade estrutural adequada para atender a vida de projeto (10 anos) e que o projeto de reabilitação deve adequar o pavimento visando a recuperação da condição funcional.

## 8.7 SEGMENTOS HOMOGÊNEOS

Os segmentos homogêneos foram determinados no Projeto Básico elaborado pelo DAER-RS e seguiram uma classificação expedita conforme figura 13. Esses segmentos homogêneos estão apresentados na tabela 3



Figura 13 – Classificação expedita de segmentos homogêneos

		CPR Centro de Pesquisas Rodoviárias	<b>CLASSIFICAÇÃO EXPEDITA DE SEGMENTOS HOMOGÊNEOS</b>
<b>Estado do Pavimento</b>			
<b>ÓTIMO</b>	<b>OT</b>	Pavimentos novos e bem executados e/ou bem conservados que necessitam apenas da manutenção rotineira	
<b>BOM</b>	<b>BO</b>	Pavimentos em bom estado de conservação com algum desgaste superficial, trincas pouco severas em áreas limitadas e poucos reparos superficiais (TR < 7)	
<b>REGULAR</b>	<b>RE</b>	Pavimento trincado em áreas restritas (FC-2 ou FC-3) ou grandes extensões com trincamento tipo FC-2, painelas (<10/km) e reparos pouco frequentes com irregularidade transversal e longitudinal aceitáveis (IRI < 3,5 e TR < 15), desgaste.	
<b>RUIM</b>	Pavimentos com defeitos generalizados		
	<b>R1</b>	Pavimento com irregularidade muito elevada IRI > 3,5	
	<b>R2</b>	Pavimento com painelas (>10/km) e reparos frequentes	
	<b>R3</b>	Pavimento com trilha de roda >15mm ou defeitos de massa	
	<b>R4</b>	Pavimento com trincamento severo, tipo FC-3	
<b>PESSIMO</b>	<b>PE</b>	Pavimento com defeitos generalizados e correções prévias. Degradação do revestimento e das demais camadas – infiltração de água e descompactação da base.	

(fonte: DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM, 2012, p. 12)

Tabela 3 – Segmentos homogêneos

Segmento Homogêneo	Início	Fim	Extensão (m)
1	126+410	126+700	290
2	126+700	127+600	900
3	127+600	129+710	2.110
4	129+710	130+000	290
5	130+000	130+600	600
6	130+600	132+000	1.400
7	132+000	133+700	1.700
8	133+700	135+700	2.000
9	135+700	138+200	2.500
10	138+200	139+100	900
11	139+100	139+700	600
12	139+700	140+000	300
13	140+000	140+700	700

continua



continuação

14	140+700	142+800	2.100
15	142+800	143+200	400
16	143+200	146+200	3.000
17	146+200	147+600	1.400
18	147+600	148+000	400
19	148+000	151+000	3.000
20	151+000	151+300	300
21	151+300	152+700	1.400
22	152+700	154+500	1.800
23	154+500	154+800	300
24	154+800	157+500	2.700
25	157+500	160+400	2.900
26	160+400	162+100	1.700
27	162+100	163+600	1.500
28	163+600	166+200	2.600
29	166+200	168+500	2.300

(fonte: DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM, 2012, p. 15)

## 9 DEFINIÇÃO DAS SOLUÇÕES DE PROJETO

Para se definir as soluções de projeto, utilizou-se o método DNER-PRO 269/94, as deflexões medidas, as espessuras do revestimento atual, as espessuras das camadas granulares existentes no pavimento e o tipo de solo do subleito. Como não foram feitos ensaios no solo do subleito, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2002, p. 1), quase toda a extensão do trecho se encontra sobre um solo chamado Terra Bruna Estruturada.

Esse tipo de solo se caracteriza por ter pouco teor de silte e um CBR maior que 10%, podendo ser classificado como um solo do tipo I, segundo a classificação utilizada no método DNER-PRO 269/94.

Após a identificação do tipo de solo, determinou-se a deflexão média, o desvio padrão e a deflexão característica para cada segmento homogêneo e para os segmentos da terceira faixa. Também calculou-se a espessura efetiva de revestimento ( $h_{ef}$ ) e em seguida a espessura de reforço (HR) dos segmentos homogêneos, conforme tabela 4, e da terceira faixa conforme tabela 5.

Tabela 4 – Resumo dos resultados das espessuras de reforço (HIR) para os segmentos homogêneos

SH	Início	Fim	Ext. (m)	Esp.do revest. atual (cm)	Espeçura da camada granular (cm)	ATR caract. (mm)	IRI médio (m/km)	Deflexão média (0,01mm)	Desvio Padrão (0,01 mm)	Deflexão Caract. (0,01 mm)	hef (cm)	HR (cm)
1	126+410	126+700	290	7	35	4,47	3,01	-	-	-	-	-
2	126+700	127+600	900	7	35	3,75	2,77	-	-	-	-	-
3	127+600	127+710	2110	7	35	6,55	3,99	42,15	9,92	52,08	7	3,96
4	127+710	130+000	290	7	35	8,39	4,49	44,00	11,00	55,00	7	3,96
5	130+000	130+600	600	7	35	7,49	2,92	38,00	8,00	46,00	7	3,96
6	130+600	132+000	1400	7	35	5,78	2,80	34,93	6,01	40,94	7	3,96
7	132+000	133+700	1700	10	35	4,49	2,84	42,53	9,28	51,81	9,86	0,084
8	133+700	135+700	2000	10	35	6,74	3,32	41,03	7,85	48,88	10	-0,11
9	135+700	138+200	2500	8	35	7,53	2,69	37,66	6,45	44,11	8	2,60
10	138+200	139+100	900	8	35	7,41	2,73	39,47	8,61	48,08	8	2,60

continua

continuação

SH	Início	Fim	Ext. (m)	Esp do revest. atual (cm)	Espessura da camada granular (cm)	ATR caract. (mm)	IRI médio (m/km)	Deflexão média (0,01mm)	Desvio Padrão (0,01 mm)	Deflexão Caract. (0,01 mm)	hef (cm)	HR (cm)
11	139+100	139+700	600	8	35	8,37	2,18	38,33	7,86	46,20	8	2,60
12	139+700	140+000	300	8	35	12,36	1,67	36,53	8,05	44,59	8	2,60
13	140+000	140+700	700	8	35	9,36	2,12	34,43	7,19	41,62	8	2,60
14	140+700	142+800	2100	8	35	10,05	2,14	32,82	5,26	38,08	8	2,60
15	142+800	143+200	400	8	35	9,35	2,39	32,55	4,11	36,66	8	2,60
16	143+200	146+200	3000	10	35	8,74	2,90	34,97	7,00	41,97	10	-0,11
17	146+200	147+600	1400	10	35	7,25	2,25	33,53	6,24	39,77	10	-0,11
18	147+600	148+000	400	10	35	7,77	2,50	33,95	8,92	42,87	10	-0,11
19	148+000	151+000	3000	10	35	8,74	2,80	33,62	6,20	39,82	10	-0,11
20	151+000	151+300	300	10	35	9,08	3,00	33,73	4,88	38,61	10	-0,11

continua

continuação

SH	Início	Fim	Ext. (m)	Esp. do revest. atual (cm)	Esp. da camada granular (cm)	ATR caract. (mm)	IRI médio (m/km)	Deflexão média (0,01mm)	Desvio Padrão (0,01 mm)	Deflexão Caract. (0,01 mm)	hef (cm)	HR (cm)
21	151+300	152+700	1400	10	35	9,10	2,42	35,86	6,09	41,95	10	-0,11
22	152+700	154+500	1800	10	35	8,79	3,73	34,82	5,97	40,79	10	-0,11
23	154+500	154+800	300	10	35	9,00	3,56	41,20	5,48	46,68	10	-0,11
24	154+800	157+500	2700	10	35	9,73	3,51	37,60	8,12	45,72	10	-0,11
25	157+500	160+400	2900	10	35	8,71	3,64	37,00	8,69	45,69	10	-0,11
26	160+400	162+100	1700	10	35	8,83	3,62	35,66	6,20	41,86	10	-0,11
27	162+100	163+600	1500	10	35	11,70	3,72	34,75	6,01	40,76	10	-0,11
28	163+600	166+200	2600	10	35	9,80	3,81	32,66	5,45	38,11	10	-0,11
29	166+200	168+500	2300	10	35	7,07	3,78	33,71	5,80	39,51	10	-0,11

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 5 – Resumo dos resultados das espessuras de reforço (HR) para os segmentos da 3ª faixa

Segmento 3a. Faixa	Início	Fim	Ext. (m)	Esp. do revest. atual (cm)	Esp. da camada granular (cm)	ATR caract. (mm)	IRI médio (m/km)	Deflexão média (0,01mm)	Desvio Padrão (0,01 mm)	Deflexão Caract. (0,01 mm)	hef (cm)	HR (cm)
1 - Direito	126+410	126+730	320	7	35	6,41	3,86	-	-	-	-	-
2 - Direito	132+250	134+400	2150	10	35	4,27	3,62	40,05	12,37	52,42	9,68	0,33
3 - Direito	135+390	136+300	910	8	35	5,62	3,08	40,92	10,45	51,36	8	2,60
4 - Direito	159+610	160+370	7600	10	35	4,76	2,98	39,89	9,94	49,83	10	-0,11
5 - Esquerdo	126+710	127+890	1180	7	35	3,97	4,20	-	-	-	-	-
6 - Esquerdo	137+490	138+420	930	8	35	7,17	4,03	39,91	9,70	49,61	8	2,60
7 - Esquerdo	1167+810	168+640	830	10	35	5,89	3,42	38,45	10,23	48,67	10	-0,11

(fonte: elaborado pela autora)

Como já havia sido identificado anteriormente, este pavimento tem condição estrutural adequada visto que a maioria das espessuras de reforço calculadas pelo DNER-PRO 269/94 são menores que 3 cm. Porém o método determina para espessuras de HR menores que 3 cm, deve-se utilizar uma espessura de reforço de no mínimo 3 cm.

No entanto, este trecho da rodovia ERS-122, tem problemas significativos quanto à condição funcional. Como não se tem os dados de trincamento do trecho, necessita-se fazer uma fresagem (FSA) de 4 cm de espessura do revestimento e após a fresagem, recomenda-se executar uma camada de tratamento superficial simples com polímero (TSSp), que serve como camada de dissipação das trincas evitando que elas sejam transferidas para a camada de reforço. O reforço deve ser executado com CBUQ com polímero.

Para ajustar o pavimento quanto a irregularidade longitudinal usou-se o modelo sugerido por Lerch (2002, p. 81) conforme a fórmula 10:

$$\Delta IRI = 0,31 \times Esp + 0,87 \times IRI_{antes} - 3,17 \quad (\text{fórmula 10})$$

Onde:

$\Delta IRI$  = redução prevista de irregularidade longitudinal após execução do recapeamento (m/km);

Esp = espessura de recapeamento (cm);

$IRI_{antes}$  = irregularidade longitudinal medida no pavimento antes da reabilitação (m/km).

Nesse caso, para calcular o  $\Delta IRI$ , utilizou-se a diferença do IRI médio atual e 2,7 (IRI máximo da faixa considerada boa).

Para os segmentos homogêneos 1 e 2 não foram fornecidos os dados das deflexões, por esse motivo não foi possível calcular o HR, mesmo assim, foi possível obter a espessura de reforço, em função da variação de irregularidade longitudinal desejada. Dessa forma, pode-se determinar a espessura de reforço para esses segmentos homogêneos: 7 cm (4 cm de binder e 3 de capa) de CBUQp executado sobre uma camada de TSSp, além da fresagem prévia de 4 cm do revestimento existente.

Os segmentos homogêneos 3, 4, 5 e 6 apresentaram um HR igual a 3,96 cm, requerendo, desta forma, uma camada de reforço de 4 cm de CBUQp. No entanto, como prevê-se uma fresagem de 4 cm no revestimento existente, deve-se executar uma camada de 8 cm de CBUQp (5 cm de binder e 3 cm de capa) sobre o TSSp. Além disso, essa espessura de reforço será adequada para a correção da irregularidade longitudinal desses segmentos.

Já os segmentos 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 apresentaram HR igual a 2,6 cm, resultando em uma camada de reforço de 3 cm. Como será fresado 4 cm, precisa-se repor essa espessura no recapeamento. Chega-se então em uma solução que combina fresagem de 4 cm, TSSp e camada de CBUQp de 7 cm (4 cm de binder e 3 cm de capa). Também calculou-se a espessura de recapeamento necessária para se atingir o IRI máximo de 2,7 m/km, que foi menor que os 3 cm calculados para suprir a deficiência estrutural dos segmentos, mantendo-se a solução já descrita.

Os segmentos 7, 8, 16, 19, 20 e 24, embora estejam bem estruturalmente, necessitam corrigir a irregularidade longitudinal. Sendo assim, dimensionou-se a camada de recapeamento necessária, chegando-se no valor de 3 cm de CBUQp. Dessa maneira teremos como solução, para os segmentos citados, fresagem de 4 cm, TSSp e 7 cm de CBUQp (4 cm binder e 3 cm de capa). Já os segmentos 22, 23, 25, 26, 27, 28 e 29 necessitam de 4 cm de CBUQp para atingirem um bom nível de irregularidade longitudinal, determinando-se como solução a fresagem de 4 cm, o tratamento superficial simples com polímero e a execução de 5 cm de binder mais 3 cm de capa de CBUQp.

Nos demais segmentos, recomenda-se executar a fresagem de 4 cm, o TSSp e CBUQp de 7 cm (4 cm de binder e 3 cm de capa), pois mesmo apresentando boas condições estruturais e funcionais, o método DNER-PRO 269/94 recomenda espessura mínima de recapeamento de 3 cm.

Nos segmentos 1, 2, 5 e 6 da 3a. faixa (existente em alguns trechos da rodovia), deve-se executar a fresagem de 4 cm, o TSSp e o CBUQp com 8 cm (5 cm de binder e 3 cm de capa), devido a recuperação das condições funcionais. Pelo mesmo motivo, os segmentos 3, 4 e 7 da 3a. faixa necessitam de CBUQp com 7 cm de espessura (4 cm binder e 3 cm de capa).



## **10 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

Como já exposto, o pavimento do trecho da rodovia ERS-122 apresenta adequada capacidade estrutural, porém não atende as condições funcionais. Em virtude disso, o dimensionamento pelo método DNER-PRO 269/94 não foi suficientemente adequado, havendo a necessidade de se fazer adequações no projeto para que o pavimento atenda as funções durante a vida de projeto. Essas adequações resultaram do dimensionamento da espessura de recapeamento necessária à correção da irregularidade longitudinal, pelo modelo sugerido por Lerch (2002, p. 81).

Desta forma, apresenta-se nas tabelas 6 e 7 o resumo das soluções de reabilitação para os segmentos homogêneos do trecho e para os segmentos da 3a. faixa, respectivamente.

Tabela 6 – Resumo das soluções de reabilitação dos segmentos homogêneos

SH	Início	Fim	Ext. (m)	Esp.do revest. atual (cm)	ATR caract. (mm)	IRI médio	Deflexão Caract. (0,01 mm)	HR (cm)	Solução adotada
1	126+410	126+700	290	7	4,47	3,01	-	-	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
2	126+700	127+600	900	7	3,75	2,77	-	-	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
3	127+600	127+710	2110	7	6,55	3,99	52,08	3,96	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)
4	127+710	130+000	290	7	8,39	4,49	55,00	3,96	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)
5	130+000	130+600	600	7	7,49	2,92	46,00	3,96	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)
6	130+600	132+000	1400	7	5,78	2,80	40,94	3,96	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)
7	132+000	133+700	1700	10	4,49	2,84	51,81	0,084	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
8	133+700	135+700	2000	10	6,74	3,32	48,88	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
9	135+700	138+200	2500	8	7,53	2,69	44,11	2,60	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
10	138+200	139+100	900	8	7,41	2,73	48,08	2,60	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)

continua

continuação

SH	Início	Fim	Ext. (m)	Esp do revest. atual (cm)	ATR caract. (mm)	IRI médio	Deflexão Caract. (0,01 mm)	HR (cm)	Solução adotada
11	139+100	139+700	600	8	8,37	2,18	46,20	2,60	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
12	139+700	140+000	300	8	12,36	1,67	44,59	2,60	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
13	140+000	140+700	700	8	9,36	2,12	41,62	2,60	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
14	140+700	142+800	2100	8	10,05	2,14	38,08	2,60	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
15	142+800	143+200	400	8	9,35	2,39	36,66	2,60	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
16	143+200	146+200	3000	10	8,74	2,90	41,97	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
17	146+200	147+600	1400	10	7,25	2,25	39,77	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
18	147+600	148+000	400	10	7,77	2,50	42,87	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
19	148+000	151+000	3000	10	8,74	2,80	39,82	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
20	151+000	151+300	300	10	9,08	3,00	38,61	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)

continua

continuação

SH	Início	Fim	Ext. (m)	Esp. do revest. atual (cm)	ATR caract. (mm)	IRI médio	Deflexão Caract. (0,01 mm)	HR (cm)	Solução adotada
21	151+300	152+700	1400	10	9,10	2,42	41,95	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
22	152+700	154+500	1800	10	8,79	3,73	40,79	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)
23	154+500	154+800	300	10	9,00	3,56	46,68	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)
24	154+800	157+500	2700	10	9,73	3,51	45,72	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
25	157+500	160+400	2900	10	8,71	3,64	45,69	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)
26	160+400	162+100	1700	10	8,83	3,62	41,86	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)
27	162+100	163+600	1500	10	11,70	3,72	40,76	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)
28	163+600	166+200	2600	10	9,80	3,81	38,11	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)
29	166+200	168+500	2300	10	7,07	3,78	39,51	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 7 – Resumo das soluções de reabilitação dos segmentos da 3a. faixa

Segmento 3ª Faixa	Início	Fim	Esp. do revest. atual (cm)	Esp. da camada granular (cm)	ATR caract. (mm)	IRI médio	Deflexão Caract. (0,01 mm)	HR (cm)	Solução adotada
1 - Direito	126+410	126+730	7	35	6,41	3,86	-	-	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)
2 - Direito	132+250	134+400	10	35	4,27	3,62	52,42	0,33	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)
3 - Direito	135+390	136+300	8	35	5,62	3,08	51,36	2,60	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
4 - Direito	159+610	160+370	10	35	4,76	2,98	49,83	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)
5 - Esquerdo	126+710	127+890	7	35	3,97	4,20	-	-	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)
6 - Esquerdo	137+490	138+420	8	35	7,17	4,03	49,61	2,60	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (8 cm)
7 - Esquerdo	1167+810	168+640	10	35	5,89	3,42	48,67	-0,11	FSA (4 cm)+TSSp+CBUQp (7 cm)

(fonte: elaborada pela autora)

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Transporte de passageiros:** apresentação. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/4890/Apresentacao.html>>. Acesso em 8 set. 2013.
- BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica:** materiais, projetos e restauração. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- 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: Petrobras, Abeda, 2008 (reimpr. 2010).
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. **Boletim estatístico** (dados referentes ao setor de transporte). Brasília, julho 2013a. Disponível em: <[http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Boletim%20Estat%C3%ADstico/boletim\\_estatistico\\_julho.pdf](http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Boletim%20Estat%C3%ADstico/boletim_estatistico_julho.pdf)>. Acesso em: 4 set. 2013.
- \_\_\_\_\_. **Pesquisa CNT de rodovias 2013:** relatório gerencial. Brasília, 2013b. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/relGeral.aspx?origem=2>>. Acesso em: 16 nov. 2013.
- DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM (Rio Grande do Sul). **Projeto básico de engenharia:** programa de conservação, restauração e manutenção das rodovias do estado do Rio Grande do Sul (CREMA-RS). Porto Alegre, outubro 2012. Disponível em: <[http://www.cecom.rs.gov.br/uploads/1352221922CREMA\\_SERRA\\_\\_LOTE\\_II\\_RELATORIO\\_DO\\_PROJETO.pdf](http://www.cecom.rs.gov.br/uploads/1352221922CREMA_SERRA__LOTE_II_RELATORIO_DO_PROJETO.pdf)>. Acesso em: 5 de set. 2013.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (São Paulo). **IP-DE-P00/003:** avaliação funcional e estrutural de pavimento. [São Paulo], 2006. Disponível em: <[ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/IP-DE-P00-003\\_A.pdf](ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/IP-DE-P00-003_A.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2014.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-PRO 269/94:** projeto de restauração de pavimentos flexíveis. [Brasília], 1994. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-PRO269-94.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2013.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 005/2003 – TER:** defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – terminologia. Rio de Janeiro, 2003a. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT005\\_2003\\_TER.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT005_2003_TER.pdf)>. Acesso em: 18 nov. 2013.
- \_\_\_\_\_. **DNIT 009/2003 – PRO:** avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – procedimento. Rio de Janeiro, 2003b. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT006\\_2003\\_PRO.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT006_2003_PRO.pdf)>. Acesso em 21 nov. 2013.

\_\_\_\_\_. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual\\_de\\_restauracao.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_de_restauracao.pdf)>. Acesso em: 9 set. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa exploratório de solos do estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/pedologia/unidades\\_federacao/rs\\_pedologia.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/pedologia/unidades_federacao/rs_pedologia.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2014.

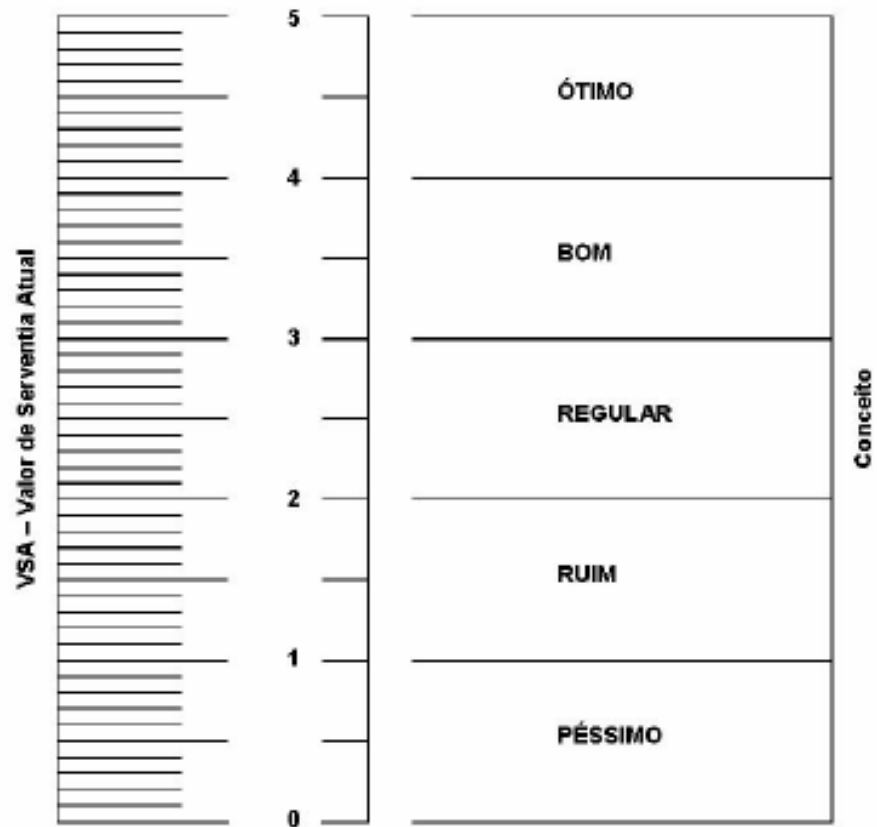
LERCH, R. L. **Previsão de irregularidade pós-recapê em rodovias do RS: ajuste do modelo HDM-4**. 2002. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2981/000329912.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 30 mai. 2014.

MEDINA, J. de; MOTTA, L. M. G. da. **Mecânica do pavimentos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. 2. ed. Rio de Janeiro: Copiarte, 2002.

**ANEXO A – Ficha de avaliação de serventia (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2003b, p. 5)**





Rodovia: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Observações: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nº do Avaliador: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**ANEXO B –Cálculo do número N (DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE  
ESTRADAS DE RODAGEM, 2012, p. 145-146)**



**DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM**  
**CPR-CENTRO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS**  
**EET-EQUIPE DE ESTUDOS DE TRÁFEGO**

**Projeção do Tráfego e do número N**

RODOVIA:	<b>ERS-122</b>
TRECHO:	0170:ENTR. ERS-437(A) (ANTÔNIO PRADO) - ENTR.ERS-437 (B)(IPÊ)
SUB-TRECHO:	
LOCAL:	

CONTAGEM									
Dia de Contagem	Dia da Semana	Data	Passeio	Coletivo	Carga			TOTAL	
					Leve	Média	Pesada		Ultra Pes
1º DIA	terça							0	
2º DIA	Quarta							0	
3º DIA	Quinta							0	
Total			0	0	0	0	0	0	
<b>VDM</b>			<b>1861</b>	<b>37</b>	<b>203</b>	<b>260</b>	<b>556</b>	<b>615</b>	<b>3532</b>
Med Pista			931	19	102	130	278	308	1768

TRAFEGO E NUMERO N									
Ano	Passeio	Tx Cresc	Coletivo	Tx Cresc	Carga	Tx Cresc	TOTAL	Nº N (10 E 6)	N Acum (10 E 6)
2011	931	6%	19	6%	818	6%	1768	1,83	1,83
2012	987	6%	20	6%	867	6%	1874	1,94	3,78
2013	1046	6%	21	6%	919	6%	1987	2,06	5,84
2014	1109	6%	23	6%	974	6%	2106	2,18	8,02
2015	1175	6%	24	6%	1033	6%	2232	2,31	10,33
2016	1246	6%	25	6%	1095	6%	2366	2,45	12,79
2017	1321	6%	27	6%	1160	6%	2508	2,60	15,39
2018	1400	6%	29	6%	1230	6%	2658	2,76	18,14
2019	1484	6%	30	6%	1304	6%	2818	2,92	21,07
2020	1573	6%	32	6%	1382	6%	2987	3,10	24,16
2021	1667	6%	34	6%	1465	6%	3166	3,28	27,45
2022	1767	6%	36	6%	1553	6%	3356	3,48	30,93
2023	1873	6%	38	6%	1646	6%	3558	3,69	34,62

VDM 10 ANO 6332

Período:	<b>12 anos</b>	Fatores de Veículo	Coletivo:	<b>0,3450</b>
Fator Regional:	<b>1,00</b>		Carga Leve:	<b>0,0630</b>
Fator de expansão:	<b>1,13</b>		Carga Média:	<b>1,3710</b>
			Carga Pesada:	<b>4,9860</b>
			Carga Ultra Pesada:	<b>11,2050</b>



**DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM  
CPR-CENTRO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS  
EET-EQUIPE DE ESTUDOS DE TRÁFEGO**

**Projeção do Tráfego e do número N**

RODOVIA:	<b>ERS-122</b>
TRECHO:	0190:ENTR.ERS-437 (B)(IPÊ) - ENTR. BRS-116 (CAMPESTRE DA SERRA)
SUB-TRECHO:	
LOCAL:	

CONTAGEM									
Dia de Contagem	Dia da Semana	Data	Passeio	Coletivo	Carga			TOTAL	
					Leve	Média	Pesada		Ultra Pes
1º DIA	terça							0	
2º DIA	Quarta							0	
3º DIA	Quinta							0	
Total			0	0	0	0	0	0	
<b>VDM</b>			<b>1861</b>	<b>37</b>	<b>203</b>	<b>260</b>	<b>556</b>	<b>615</b>	<b>3532</b>
Med Pista			931	19	102	130	278	308	1768

TRÁFEGO E NUMERO N									
Ano	Passeio	Tx Cresc	Coletivo	Tx Cresc	Carga	Tx Cresc	TOTAL	Nº N (10 E 6)	N Acum (10 E 6)
2011	931	6%	19	6%	818	6%	1768	1,83	1,83
2012	987	6%	20	6%	867	6%	1874	1,94	3,78
2013	1046	6%	21	6%	919	6%	1987	2,06	5,84
2014	1109	6%	23	6%	974	6%	2106	2,18	8,02
2015	1175	6%	24	6%	1033	6%	2232	2,31	10,33
2016	1246	6%	25	6%	1095	6%	2366	2,45	12,79
2017	1321	6%	27	6%	1160	6%	2508	2,60	15,39
2018	1400	6%	29	6%	1230	6%	2658	2,76	18,14
2019	1484	6%	30	6%	1304	6%	2818	2,92	21,07
2020	1573	6%	32	6%	1382	6%	2987	3,10	24,16
2021	1667	6%	34	6%	1465	6%	3166	3,28	27,45
2022	1767	6%	36	6%	1553	6%	3356	3,48	30,93
2023	1873	6%	38	6%	1646	6%	3558	3,69	34,62

VDM 10 ANO 6332

Período:	<b>12 anos</b>	Fatores de Veículo	Coletivo:	<b>0,3450</b>
Fator Regional:	<b>1,00</b>		Carga Leve:	<b>0,0630</b>
Fator de expansão:	<b>1,13</b>		Carga Média:	<b>1,3710</b>
			Carga Pesada:	<b>4,9860</b>
			Carga Ultra Pesada:	<b>11,2050</b>

**ANEXO C – Valor de serventia atual (dados fornecidos pelo  
DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM)**

## Levantamento do Valor de Serventia Atual (VSA)

CREMA

LOTE 2

Rodovia: ERS-122

Trecho		VSA	
KM inicial	KM final	Sentido Crescente	Sentido Decrescente
126+410	127+000	3,5	2,5
127+000	128+000	3,5	3
128+000	129+000	3	3
129+000	129+710	3	2
129+710	130+000	2	3
130+000	131+000	3,5	3
131+000	132+000	4	3
132+000	133+000	4	3
133+000	134+000	1,5	1,5
134+000	135+000	2,5	0,5
135+000	136+000	2,5	1
136+000	137+000	3,5	1,5
137+000	138+000	2,5	2
138+000	139+000	3	2
139+000	140+000	3	2
140+000	141+000	3,5	2
141+000	142+000	3	1,5
142+000	143+000	2,5	2
143+000	144+000	2	1
144+000	145+000	2,5	1
145+000	146+000	1,5	1,5
146+000	147+000	3,5	2
147+000	148+000	3	1
148+000	149+000	3	1,5
149+000	150+000	3	2
150+000	151+000	2,5	3
151+000	152+000	2	2,5
152+000	153+000	1,5	2
153+000	154+000	2	1
154+000	155+000	3	1,5
155+000	156+000	3,5	1
156+000	157+000	2,5	1
157+000	158+000	2,5	1
158+000	159+000	2	0,5
159+000	160+000	2	0,5
160+000	161+000	3	2
161+000	162+000	3	1
162+000	163+000	2	1
163+000	164+000	1,5	1,5
164+000	165+000	1	2
165+000	166+000	3,5	2
166+000	167+000	1,5	1,5
167+000	168+000	1,5	1,5
168+000	168+650	1,5	2

**ANEXO D - Exemplo do levantamento de irregularidade longitudinal  
(dados fornecidos pelo DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS  
DE RODAGEM)**

## Levantamento do Índice de Irregularidade Internacional - IRI

CREMA		LOTE 2			Rodovia: ERS-122		Sentido Crescente		
Início (km)	Fim (km)	IRI Esq	IRI Dir	IRI Médio	Latitude	Longitude	Altitude	Obs	
126,41	126,6	2,83	3,02	2,93	-28,8487638	-51,2569532	699		
126,6	126,8	2,8	3,2	3	-28,8476268	-51,2586642	719		
126,8	127	3,37	2,95	3,16	-28,8465695	-51,2602726	728		
127	127,2	3,58	3,28	3,43	-28,8454535	-51,2618974	729		
127,2	127,4	2,63	2,35	2,49	-28,8445133	-51,2634133	718		
127,4	127,6	3,32	3,63	3,48	-28,8436667	-51,2651817	709		
127,6	127,8	2,16	2,62	2,39	-28,84277	-51,2669267	696		
127,8	128	3,71	3,27	3,49	-28,8413976	-51,2687115	681	km128	
128	128,2	6,91	6,85	6,88	-28,8415448	-51,2706063	670		
128,2	128,4	3,81	3,99	3,9	-28,8403217	-51,271435	643		
128,4	128,6	4,46	3,06	3,76	-28,8384755	-51,2720998	661		
128,6	128,8	3,97	3,19	3,58	-28,8368363	-51,2713281	681		
128,8	129	2,67	3,03	2,85	-28,835175	-51,2705467	696		
129	129,2	3,95	3,57	3,76	-28,8334169	-51,2706092	691		
129,2	129,4	3,41	3,23	3,32	-28,8319317	-51,2713167	684		
129,4	129,6	4,36	3,5	3,93	-28,83032	-51,2725233	699		
129,6	129,71	3,4	5,51	4,45	-28,8287217	-51,2719017	722		
129,71	129,8	3,4	5,51	4,45	-28,8287217	-51,2719017	722		
129,8	130	7,3	5,97	6,63	-28,8270967	-51,2705283	722	km130	
130	130,2	2,72	2,8	2,76	-28,8256148	-51,2706312	730		
130,2	130,4	2,13	2,04	2,09	-28,8239752	-51,2714174	738		
130,4	130,6	3,38	1,89	2,63	-28,8222233	-51,27082	752		
130,6	130,8	2,1	3,02	2,56	-28,8212627	-51,2692863	762		
130,8	131	2,79	2,54	2,67	-28,8204431	-51,2675013	769		
131	131,2	2,8	4,65	3,73	-28,818587	-51,2670223	753		
131,2	131,4	1,88	2,56	2,22	-28,8167849	-51,2668146	761		
131,4	131,6	2,37	3,9	3,13	-28,8151094	-51,2667571	758		
131,6	131,8	3,41	5,03	4,22	-28,813715	-51,2675983	762		
131,8	132	1,91	2,05	1,98	-28,8120733	-51,2686583	772		
132	132,2	2,36	2,06	2,21	-28,810363	-51,2696299	773		
132,2	132,4	1,93	2,23	2,08	-28,8084521	-51,2694763	771		
132,4	132,6	1,78	2,08	1,93	-28,806737	-51,2696662	776		
132,6	132,8	1,26	1,49	1,37	-28,8052817	-51,26966	786		
132,8	133	1,78	1,38	1,58	-28,8034362	-51,2693007	801		
133	133,2	2,09	2,25	2,17	-28,8017767	-51,2700867	810		
133,2	133,4	1,86	3,01	2,43	-28,8001783	-51,270535	810		
133,4	133,6	3,09	3,47	3,28	-28,7983271	-51,2708378	817		
133,6	133,8	3,99	4,43	4,21	-28,7965283	-51,2708583	826		
133,8	134	3,51	3,33	3,42	-28,79472	-51,2710633	834	km134	
134	134,2	1,4	1,82	1,61	-28,7928369	-51,2710172	849		
134,2	134,4	3,75	4,27	4,01	-28,7914641	-51,2696009	854		
134,4	134,6	3,51	2,27	2,89	-28,7906833	-51,2678767	855		
134,6	134,8	1,91	2	1,96	-28,7889008	-51,2671408	858		
134,8	135	2,41	2,26	2,33	-28,7873467	-51,2670667	848		
135	135,2	4,1	3,19	3,65	-28,7853571	-51,2671183	836		
135,2	135,4	2,22	2,49	2,35	-28,7835513	-51,2667246	834		
135,4	135,6	1,55	2,1	1,83	-28,7817636	-51,2661955	845		
135,6	135,8	1,8	3,42	2,61	-28,78015	-51,2666675	856		
135,8	136	1,19	3,13	2,16	-28,7783505	-51,267125	851		
136	136,2	1,22	3,25	2,24	-28,776607	-51,2667955	877		
136,2	136,4	1,82	2,41	2,11	-28,7750667	-51,2659367	888		
136,4	136,6	1,8	1,99	1,89	-28,7732241	-51,2658766	885		
136,6	136,8	2,79	1,86	2,32	-28,7717103	-51,2668981	880		
136,8	137	2,07	2,34	2,21	-28,7699933	-51,267508	880		
137	137,2	3,63	3,13	3,38	-28,7684467	-51,2670967	875		



## Levantamento do Índice de Irregularidade Internacional - IRI

CREMA		LOTE 2			Rodovia: ERS-122		Sentido Decrescente		
Início (km)	Fim (km)	IRI Esq	IRI Dir	IRI Médio	Latitude	Longitude	Altitude	Obs	
126,41	126,6	2,85	3,32	3,09	-28,8471347	-51,2594301	722		
126,6	126,8	2,67	2,86	2,77	-28,8461117	-51,2609467	725		
126,8	127	2,27	2,2	2,24	-28,8449065	-51,2627171	719		
127	127,2	2,41	2,37	2,39	-28,8439873	-51,2644897	705	km127	
127,2	127,4	2,5	2,26	2,38	-28,843149	-51,266232	695		
127,4	127,6	2,31	2,49	2,4	-28,8420523	-51,2678208	682		
127,6	127,8	2,6	2,85	2,73	-28,8412261	-51,2695997	669		
127,8	128	7,93	9,47	8,7	-28,8412753	-51,2712428	655		
128	128,2	6,34	5,36	5,85	-28,8396048	-51,2716039	669		
128,2	128,4	3,47	3,66	3,57	-28,83808	-51,2721233	673		
128,4	128,6	3,56	3,27	3,42	-28,8363619	-51,271029	675		
128,6	128,8	3,02	3,11	3,06	-28,83465	-51,27044	679		
128,8	129	3,15	2,76	2,96	-28,8329833	-51,2707733	682		
129	129,2	4,1	4,44	4,27	-28,83139	-51,2718283	686		
129,2	129,4	2,39	3,64	3,01	-28,8297589	-51,2725611	688		
129,4	129,6	4,76	3,82	4,29	-28,8281786	-51,2714132	702		
129,6	129,71	3,28	3,8	3,54	-28,8267506	-51,2702353	703		
129,71	129,8	3,28	3,8	3,54	-28,8267506	-51,2702353	703		
129,8	130	3,66	3,03	3,35	-28,8253367	-51,2710817	725		
130	130,2	1,9	3,76	2,83	-28,8234807	-51,2713007	735		
130,2	130,4	3,56	3,78	3,67	-28,8219018	-51,27071	741		
130,4	130,6	2,32	4,71	3,51	-28,8211238	-51,2688495	747		
130,6	130,8	2,52	2,46	2,49	-28,8199573	-51,2673972	751		
130,8	131	2,75	2,89	2,82	-28,81829	-51,26702	744		
131	131,2	2,52	2,83	2,67	-28,8161353	-51,2667412	741		
131,2	131,4	2,51	2,32	2,41	-28,8146892	-51,2670567	750		
131,4	131,6	2,51	2,49	2,5	-28,8131717	-51,2679917	751		
131,6	131,8	2,31	2,73	2,52	-28,8114659	-51,268959	752		
131,8	132	2,93	3,6	3,27	Sem Sinal	Sem Sinal	Sem Sinal		
132	132,2	2,31	2,97	2,64	Sem Sinal	Sem Sinal	Sem Sinal		
132,2	132,4	1,91	2,74	2,32	-28,8062733	-51,2697383	769		
132,4	132,6	2,14	3,34	2,74	-28,8043165	-51,2694398	781		
132,6	132,8	4,14	2,93	3,53	-28,8027109	-51,2697584	785		
132,8	133	2,56	2,92	2,74	-28,8005292	-51,270493	788	km133	
133	133,2	4,56	6,14	5,35	-28,7978306	-51,2708686	798		
133,2	133,4	2,59	3,63	3,11	-28,7964933	-51,270875	822		
133,4	133,6	3,62	3,75	3,68	-28,7957729	-51,2709122	828		
133,6	133,8	3,42	4,15	3,79	-28,794115	-51,2712067	838		
133,8	134	3,69	4,65	4,17	-28,792246	-51,2707384	848		
134	134,2	2,61	4,01	3,31	-28,7913383	-51,2691267	844		
134,2	134,4	7,76	9,76	8,76	-28,79024	-51,2676417	845		
134,4	134,6	3,67	5,31	4,49	-28,7884294	-51,2670851	832		
134,6	134,8	1,78	3,7	2,74	-28,7867833	-51,2671367	816		
134,8	135	2,46	5,32	3,89	-28,7849883	-51,2671	819	km135	
135	135,2	1,7	6,63	4,16	-28,7830212	-51,2665809	819		
135,2	135,4	2,09	2,45	2,27	-28,7812501	-51,2663251	824		
135,4	135,6	1,71	2,43	2,07	-28,7793517	-51,26713	827		
135,6	135,8	3,67	4,16	3,91	-28,7776767	-51,2671834	855		
135,8	136	1,79	3,07	2,43	-28,7759572	-51,2664894	858		
136	136,2	1,75	3,41	2,58	-28,77426	-51,2657533	869		
136,2	136,4	1,74	2,19	1,96	-28,7728183	-51,2662983	871		
136,4	136,6	1,15	2,62	1,89	-28,7711317	-51,2673818	872		

**ANEXO E - Exemplo do levantamento de afundamento de trilha de roda  
(dados fornecidos pelo DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS  
DE RODAGEM)**

ATR - Afundamento nas Trilhas de Rodas								
CREMA		LOTE 2			Rodovia: ERS-122		Sentido Crescente	
Início (km)	Fim (km)	ATR Esq (mm)	ATR Dir (mm)	ATR médio (mm)	Latitude	Longitude	Altitude	Obs
126,41	126,42	1,9	4	2,95	-28,8486521	-51,2571224	701	
126,42	126,43	1,4	5,1	3,25	-28,8486134	-51,2571782	701	
126,43	126,44	1	4,2	2,6	-28,8485577	-51,2572607	702	
126,44	126,45	1	3,2	2,1	-28,8485717	-51,25724	702	
126,45	126,46	1	3,9	2,45	-28,8485717	-51,25724	702	
126,46	126,47	0,9	3,2	2,05	-28,8484392	-51,2574416	704	
126,47	126,48	1	4,1	2,55	-28,8483384	-51,257595	706	
126,48	126,49	0,9	2	1,45	-28,8482375	-51,2577485	708	
126,49	126,5	1	2,8	1,9	-28,8482299	-51,2577545	709	
126,5	126,51	1,5	2,2	1,85	-28,8481749	-51,2578354	710	
126,51	126,52	0,6	2,8	1,7	-28,848225	-51,2577617	709	
126,52	126,53	0,8	6,7	3,75	-28,848225	-51,2577617	709	
126,53	126,54	0,7	5,6	3,15	-28,8480239	-51,2580633	712	
126,54	126,55	0,7	0,9	0,8	-28,8479206	-51,2582183	714	
126,55	126,56	0,8	3,9	2,35	-28,8479016	-51,2582495	715	
126,56	126,57	0,7	1	0,85	-28,8478473	-51,2583326	716	
126,57	126,58	0,8	2,5	1,65	-28,8478817	-51,25828	715	
126,58	126,59	1,5	2	1,75	-28,8478817	-51,25828	715	
126,59	126,6	1,3	2,6	1,95	-28,8476976	-51,2585575	718	
126,6	126,61	2,3	4	3,15	-28,8476189	-51,258676	719	
126,61	126,62	0	2,4	1,2	-28,8475753	-51,2587395	720	
126,62	126,63	1,1	3,5	2,3	-28,8475207	-51,2588203	721	
126,63	126,64	0	3,1	1,55	-28,84754	-51,2587917	721	
126,64	126,65	1,8	2,1	1,95	-28,84754	-51,2587917	721	
126,65	126,66	0	6,8	3,4	-28,8473957	-51,2590082	723	
126,66	126,67	3	8,6	5,8	-28,8472942	-51,2591603	725	
126,67	126,68	0,6	6,1	3,35	-28,8472481	-51,2592281	726	
126,68	126,69	1,5	5,7	3,6	-28,8471932	-51,2593093	727	
126,69	126,7	0,9	2,9	1,9	-28,8471983	-51,2593017	727	
126,7	126,71	3,5	1,4	2,45	-28,8471983	-51,2593017	727	
126,71	126,72	0,4	2,8	1,6	-28,8470571	-51,2595205	727	
126,72	126,73	6,2	8,9	7,55	-28,846937	-51,2597067	728	
126,73	126,74	5,4	4,1	4,75	-28,8469248	-51,2597326	727	
126,74	126,75	6,6	1,8	4,2	-28,8468842	-51,2598007	727	
126,75	126,76	1,5	6,9	4,2	-28,8468436	-51,2598688	727	
126,76	126,77	3	8,2	5,6	-28,8468767	-51,2598133	727	
126,77	126,78	2,2	10,3	6,25	-28,8468767	-51,2598133	727	
126,78	126,79	2,3	9	5,65	-28,8466967	-51,2600852	728	
126,79	126,8	1,1	6,6	3,85	-28,8465975	-51,2602351	728	
126,8	126,81	2,1	7,2	4,65	-28,846564	-51,2602807	728	
126,81	126,82	6,8	6,8	6,8	-28,8465082	-51,2603617	728	
126,82	126,83	4,7	4,8	4,75	-28,84653	-51,26033	728	
126,83	126,84	6,6	7,6	7,1	-28,84653	-51,26033	728	
126,84	126,85	4	7,3	5,65	-28,8463817	-51,2605425	729	
126,85	126,86	2,7	6,3	4,5	-28,8462674	-51,2607062	730	
126,86	126,87	2,7	5,8	4,25	-28,8462517	-51,2607302	729	
126,87	126,88	5,4	6,1	5,75	-28,8461819	-51,2608309	730	
126,88	126,89	4,7	4,5	4,6	-28,846112	-51,2609317	730	
126,89	126,9	2,7	6,2	4,45	-28,8461617	-51,26086	730	
126,9	126,91	1,5	7,5	4,5	-28,8461617	-51,26086	730	

ATR - Afundamento nas Trilhas de Rodas								
CREMA		LOTE 2			Rodovia: ERS-122		Sentido Decrescente	
Início (km)	Fim (km)	ATR Esq (mm)	ATR Dir (mm)	ATR Médio (mm)	Latitude	Longitude	Altitude	Obs
126,42	126,41	4,5	5,1	4,8	-28,8481315	-51,2579491	706	
126,43	126,42	3,3	9,6	6,45	-28,8480835	-51,2580182	707	
126,44	126,43	2,7	2,6	2,65	-28,84808	-51,2580233	707	
126,45	126,44	4,1	3,7	3,9	-28,84808	-51,2580233	707	
126,46	126,45	3	2,2	2,6	-28,8479251	-51,2582556	709	
126,47	126,46	4	5,2	4,6	-28,8478706	-51,2583374	710	
126,48	126,47	2,9	2,7	2,8	-28,8478467	-51,2583733	711	
126,49	126,48	3,1	6,1	4,6	-28,8478467	-51,2583733	711	
126,5	126,49	2,4	2,3	2,35	-28,8477223	-51,2585599	713	
126,51	126,5	6,1	8,8	7,45	-28,8476581	-51,2586549	713	
126,52	126,51	4,7	8,5	6,6	-28,8476017	-51,2587376	714	
126,53	126,52	3,7	4,2	3,95	-28,8476217	-51,2587083	714	
126,54	126,53	1,6	1,6	1,6	-28,8475079	-51,2588771	716	
126,55	126,54	2,8	5	3,9	-28,8474253	-51,2589997	717	
126,56	126,55	3,5	4,9	4,2	-28,8473841	-51,2590632	717	
126,57	126,56	5	8,1	6,55	-28,847395	-51,2590467	717	
126,58	126,57	3,8	6,7	5,25	-28,8473041	-51,2591795	719	
126,59	126,58	4,5	8,5	6,5	-28,8472014	-51,2593299	721	
126,6	126,59	5,6	5,6	5,6	-28,8471628	-51,2593883	721	
126,61	126,6	6,6	4,3	5,45	-28,8471617	-51,25939	721	
126,62	126,61	0,9	0,5	0,7	-28,8471617	-51,25939	721	
126,63	126,62	2,1	1,9	2	-28,8470161	-51,2596068	723	
126,64	126,63	1,9	1,3	1,6	-28,8469466	-51,2597144	723	
126,65	126,64	3,6	1,3	2,45	-28,8469217	-51,2597533	723	
126,66	126,65	6,6	4,5	5,55	-28,8469217	-51,2597533	723	
126,67	126,66	2,8	3,9	3,35	-28,8467853	-51,2599524	724	
126,68	126,67	5,6	7,9	6,75	-28,8466994	-51,2600779	724	
126,69	126,68	7,7	7,4	7,55	-28,8466542	-51,2601394	724	
126,7	126,69	3,3	1,2	2,25	-28,8466667	-51,2601217	724	
126,71	126,7	0,5	2	1,25	-28,8465686	-51,2602621	724	
126,72	126,71	1,8	1,7	1,75	-28,84648	-51,2603888	725	
126,73	126,72	2,2	1,4	1,8	-28,846424	-51,2604744	725	
126,74	126,73	3,8	2,5	3,15	-28,8463662	-51,2605621	725	
126,75	126,74	2,9	6,6	4,75	-28,846395	-51,2605183	725	
126,76	126,75	2	2	2	-28,8462782	-51,2606894	725	
126,77	126,76	0,8	1	0,9	-28,8461901	-51,2608185	725	
126,78	126,77	0,7	1	0,85	-28,8461389	-51,260903	725	
126,79	126,78	1,2	1,6	1,4	-28,8460823	-51,2609938	725	
126,8	126,79	2,1	2,7	2,4	-28,8461117	-51,2609467	725	
126,81	126,8	1,7	2,1	1,9	-28,8460031	-51,2611072	725	
126,82	126,81	1,5	2,7	2,1	-28,8459181	-51,261233	725	
126,83	126,82	2	2,2	2,1	-28,8458589	-51,2613111	726	
126,84	126,83	2,1	2,6	2,35	-28,8458013	-51,2613864	726	
126,85	126,84	1,4	1,4	1,4	-28,84581	-51,261375	726	
126,86	126,85	2,4	1,4	1,9	-28,84581	-51,261375	726	
126,87	126,86	1,4	1,8	1,6	-28,8456542	-51,26159	727	
126,88	126,87	2	2,4	2,2	-28,8455697	-51,2617066	728	
126,89	126,88	2,3	1,5	1,9	-28,8455257	-51,261776	727	
126,9	126,89	1,8	1,4	1,6	-28,8455083	-51,2618017	727	
126,91	126,9	1,1	1,1	1,1	-28,8455083	-51,2618017	727	

**ANEXO F - Exemplo dos dados das deflexões medidas com Viga  
Benkelman (dados fornecidos pelo DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE  
ESTRADAS DE RODAGEM)**



## Levantamento das DEFLEXÕES - PISTA DE ROLAMENTO

CREMA

LOTE 2

Rodovia: ERS-122

K:2,000

ESTACA	N/ LEIT	LADO DIREITO			EIXO			LADO ESQUERDO			MÉDIA
		LI	LF	DEFLEXAO				LI	LF	DEFLEXAO	DEFLEXAO
128,040	1	500	482	36	500	479	42	500	478	44	41
128,060	2	500	476	48	500	476	48	500	480	40	45
128,080	3	500	473	54	500	487	26	500	489	22	34
128,100	4	500	479	42	500	491	18	500	473	54	38
128,120	5	500	475	50	500	488	24	500	478	44	39
128,140	6	500	480	40	500	483	34	500	469	62	45
128,160	7	500	470	60	500	491	18	500	471	58	45
128,180	8	500	490	20	500	486	28	500	478	44	31
128,200	9	500	490	20	500	476	48	500	490	20	29
128,220	10	500	496	8	500	481	38	500	479	42	29
128,240	11	500	487	26	500	493	14	500	478	44	28
128,260	12	500	456	88	500	489	22	500	476	48	53
128,280	13	500	489	22	500	473	54	500	491	18	31
128,300	14	500	483	34	500	469	62	500	478	44	47
128,320	15	500	487	26	500	471	58	500	483	34	39
128,340	16	500	489	22	500	474	52	500	481	38	37
128,360	17	500	488	24	500	489	22	500	489	22	23
128,380	18	500	481	38	500	490	20	500	484	32	30
128,400	19	500	488	24	500	478	44	500	486	28	32
128,420	20	500	476	48	500	483	34	500	480	40	41
128,440	21	500	483	34	500	492	16	500	478	44	31
128,460	22	500	491	18	500	486	28	500	476	48	31
128,480	23	500	480	40	500	481	38	500	475	50	43
128,500	24	500	493	14	500	480	40	500	472	56	37
128,520	1	500	480	40	500	482	36	500	483	34	37
128,540	2	500	486	28	500	478	44	500	491	18	30
128,560	3	500	483	34	500	490	20	500	493	14	23
128,580	4	500	489	22	500	486	28	500	486	28	26
128,600	5	500	481	38	500	489	22	500	481	38	33
128,620	6	500	483	34	500	479	42	500	480	40	39
128,640	7	500	479	42	500	487	26	500	483	34	34
128,660	8	500	479	42	500	483	34	500	481	38	38
128,680	9	500	483	34	500	490	20	500	485	30	28
128,700	10	500	479	42	500	491	18	500	487	26	29
128,720	11	500	484	32	500	483	34	500	486	28	31
128,740	12	500	478	44	500	486	28	500	470	60	44
128,760	13	500	479	42	500	491	18	500	479	42	34
128,780	14	500	470	60	500	487	26	500	476	48	45
128,800	15	500	483	34	500	493	14	500	484	32	27
128,820	16	500	477	46	500	476	48	500	481	38	44
128,840	17	500	480	40	500	470	60	500	479	42	47
128,860	18	500	483	34	500	483	34	500	483	34	34
128,880	19	500	487	26	500	489	22	500	485	30	26
128,900	20	500	482	36	500	476	48	500	487	26	37
128,920	21	500	489	22	500	488	24	500	486	28	25
128,940	22	500	486	28	500	489	22	500	484	32	27
128,960	23	500	490	20	500	481	38	500	485	30	29
128,980	24	500	484	32	500	483	34	500	486	28	31
129,000	1	500	485	30	500	485	30	500	482	36	32
129,020	2	500	482	36	500	488	24	500	484	32	31
129,040	3	500	487	26	500	486	28	500	479	42	32
129,060	4	500	476	48	500	479	42	500	476	48	46
129,080	5	500	480	40	500	472	56	500	473	54	50
129,100	6	500	478	44	500	469	62	500	468	64	57
129,120	7	500	481	38	500	481	38	500	479	42	39