

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

WESLEY GIMENES AZOIA

**AVALIAÇÃO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL E CÁLCULO DO
REFORÇO PELOS MÉTODOS DNER-PRO 11/79 E 269/94**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2014

WESLEY GIMENES AZOIA

**AVALIAÇÃO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL E CÁLCULO DO
REFORÇO PELOS MÉTODOS DNER-PRO 11/79 E 269/94**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. MSc. Eliana Fernandes dos Santos.

CAMPO MOURÃO

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso Nº 82

**AVALIAÇÃO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL E CÁLCULO DO REFORÇO PELOS MÉTODOS DNER-PRO 11/79
E 269/94**

por
Wesley Gimenes Azoia

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10h20min do dia 5 de Agosto de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Esp. Sérgio Oberhauser Braga
(UTFPR)

Prof. MSc. Adalberto R. de Oliveira
(UTFPR)

Prof^a. MSc. Eliana Fernandes dos Santos
(UTFPR)
Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Marcelo Guelbert

AGRADECIMENTOS

A Deus por me guiar em momentos que faltaram forças e me fazer enxergar esperança onde não havia, ou pelo menos, onde eu não às enxergava.

Aos meus pais Celso e Márcia que juntos ensinam o que é preciso para crescer e tornar-se um ser humano com dignidade, amor ao próximo e esperança para lutar sempre em busca de um sonho desejado. Meus irmãos Celso Vinícius e William que demonstram um companheirismo no qual me orgulho e que prevalece entre nós. Minha namorada Carlisa que está ao meu lado há um bom tempo e me apoia quando preciso, pois é uma pessoa que me proporcionou visões diferentes de um amor verdadeiro.

A minha orientadora Eliana Fernandes dos Santos por tornar possível um trabalho na área que pretendo seguir em minha carreira profissional, me guiando e tornando momentos de tensões em momentos de tranquilidade com sua sapiência, pois contribuiu muito para minha formação.

Ao professor Petrônio Montezuma por me prover de conselhos para um futuro grandioso e estar sempre disposto a ajudar quando requerido, e ao professor Sérgio Roberto por contribuir um pouco além das aulas em meu conhecimento técnico e mostrar com sua tranquilidade como devemos nos comportar perante aos problemas da profissão.

Aos meus amigos que estiveram presentes em grande parte da minha trajetória na universidade, trocando risadas, tristezas, churrascos e simples conversas que perfazem o espírito de uma amizade, sendo eles, Gilson Trentin, Matheus Alberti, Fabio Martins, Anderson Lacovic, Fagner Zotti, Nelson Joly, Henrique Silva e Diogo Pereira. Penso que se um dia fomos amigos de verdade, outro dia nos encontraremos e lembraremos de uma fase que se tornou marcante em nossas vidas.

O que pensamos ou no que acreditamos não tem muita importância. A única coisa relevante é o que fazemos. (RUSKIN, John, 1819 – 1900).

RESUMO

AZOIA, Wesley G. **Avaliação do pavimento flexível e cálculo do reforço pelos métodos 11/79 e 269/94**. 2014. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

A pavimentação asfáltica é parte integrante da infra-estrutura de um país, estado e município, pois traz segurança e conforto aos usuários e facilita a mobilidade. Assim como qualquer construção, o pavimento também necessita de manutenções periódicas para continuar garantindo uma serventia de qualidade. Quando há o comprometimento da via, deve-se prover de avaliações seguidas de projetos de reforço aplicando correções superficiais e aumento de capacidade estrutural para suportar novas solicitações de tráfego. Este trabalho tem como objetivo avaliar o pavimento da Avenida Nelson Maior na cidade de Terra Rica – Paraná e após o diagnóstico da situação atual, realizar o dimensionamento pelos métodos 11/79 e 269/94 para recompor suas propriedades com segurança e propor uma solução de recapeamento em dois trechos da avenida. Os ensaios para caracterização do solo foram realizados no Laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão e seguiram suas normas específicas. O dimensionamento pelo método 11/79, seus procedimentos e cálculos foram regidos através da norma “DNER-PRO 11/79 – Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis” e o método 269/94 obedeceu à norma “DNER-PRO 269/94 – Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis”, além da verificação da existência de drenagem nos trechos com a localização das bocas de lobo. Após as avaliações e diagnóstico do pavimento constatou-se que os dois trechos apresentaram defeitos superficiais que prejudicam a segurança dos usuários, porém o suporte estrutural está em boa qualidade devido às deflexões baixas e raios de curvatura altos, não comprometendo as camadas inferiores como, base, sub-base e sub-leito. Os dois métodos de dimensionamento obtiveram resultados parecidos e reforçam a necessidade de uma intervenção apenas superficial, verificando que a camada existente suporte o tráfego atual e futuro. A medida de correção proposta em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) com espessura de três centímetros permite que a camada superficial seja recomposta e recuperada tornando o pavimento seguro e viável para os usuários. As avaliações realizadas pelas respectivas normas técnicas garantem um diagnóstico com qualidade pela quantidade de dados fornecidos, assim como o dimensionamento por métodos distintos asseguram uma maior confiança por parte dos projetistas para confeccionar projetos de qualidade e confirmam a prudência de uma restauração exequível atendendo às solicitações presentes sem breves manutenções.

Palavras-chave: Pavimentação. Manutenção. Diagnóstico. Reforço.

ABSTRACT

AZOIA, Wesley G. **Flexible pavement evaluation and calculation of reinforcement by the methods 11/79 e 269/94.** 2014. 58f. Completion of course work (Bachelor of Civil Engineering) – Federal Technological University of Paraná. Campo Mourão, 2014.

The asphalt paving is an integral part of the infrastructure of a country, state and county party because it brings security and comfort to users and facilitates mobility. Like any building, the floor also needs periodic maintenance to continue ensuring a quality usefulness. When there is impairment of the pathway, you must provide evaluations followed by reinforcement projects applying superficial fixes and increased structural capacity to support new traffic requests. This work aims to evaluate the pavement of Nelson Maior Avenue in the City of Terra Rica - Paraná and after diagnosis of the current situation, perform scaling methods by 11/79 and 269/94 to safely recover their properties and propose a solution resurfacing in two stretches of the boulevard. Assays for soil characterization were performed at the Laboratory of the Federal Technological University of Paraná, Campo Mourão campus. Followed their specific standards. The scaling method 11/79 and its procedures and calculations were governed by "DNER-PRO 11/79 - Structural Evaluation of Flexible Pavements" and the standard method 269/94 followed the "DNER-PRO 269/94 rule - Draft restoration of Flexible Pavements ", besides the determination of drainage in the sections with the location of inlets. After evaluations, the diagnosis of the payment found that the two sites presented surface defects that impair the safety of users, however the structural support is in good quality because of low deflection and radius of curvature high, not compromising the lower layers: base , sub-base and subgrade. The two scaling methods and obtained similar results reinforce the need to only superficial intervention, noting that the existing layer supports current and future traffic. A proposed remedial measure .The proposed remedial measures in hot asphalt concrete (HMA) of three inches thick allows the surface layer to be recovered and recomposed making the floor safe and feasible for users. Those performed by the respective technical standards reviews ensure a diagnosis with quality by the amount of information provided, as well as scaling by different methods ensure greater confidence on the part of the designers for making quality designs and confirm the prudence of a feasible restoration servicing requests gifts no brief maintenance.

Keywords: Paving. Maintenance. Diagnosis. Reinforcement.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESQUEMA DE VIGA BENKELMAN.....	17
FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE TERRA RICA NO ESTADO DO PARANÁ.....	21
FIGURA 3 – AVENIDA NELSON MAIOR E OS TRECHOS ESTUDADOS.....	22
FIGURA 4 – TRELIÇA PARA MEDIÇÃO DE FLECHA NA TRILHA DE RODA.....	23
FIGURA 5 – ESQUEMA DE MEDIDA DO RAIOS DE CURVATURA.....	27
FIGURA 6 – SECAGEM DA AMOSTRA AO AR LIVRE.....	34
FIGURA 7 – COMPACTAÇÃO DA AMOSTRA.....	34
FIGURA 8 – EXTRAÇÃO DA AMOSTRA.....	35
FIGURA 9 – AMOSTRA PRONTA PARA PESAGEM.....	35
FIGURA 10 – COMPACTAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DO ISC.....	36
FIGURA 11 – AMOSTRA PRONTA PARA IMERSÃO.....	36
FIGURA 12 – MOLDE IMERSO PARA SATURAÇÃO.....	36
FIGURA 13 – PENETRAÇÃO NA PRENSA ELÉTRICA.....	36
FIGURA 14 – ENSAIO ATRAVÉS DA BOMBA A VÁCUO.....	38
FIGURA 15 – GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO.....	39
FIGURA 16 – GRANULOMETRIA POR SEDIMENTAÇÃO.....	39
FIGURA 17 – FREQUÊNCIA CONSTANTE DE REMENDOS.....	40
FIGURA 18 – DETERIORAÇÃO AVANÇADA COM PANEIS PROFUNDAS.....	41
FIGURA 19 – CAMINHÃO BASCULANTE NO ENSAIO DA VIGA BENKELMAN.....	42
FIGURA 20 – a) SENTIDO DE ESCOAMENTO DA ÁGUA CONFORME O TERRENO – b) ESQUEMA DAS BOCAS DE LOBO EXISTENTES.....	48

LISTA DE QUADROS E GRÁFICOS

QUADRO 1 – VALOR DO FATOR DE PONDERAÇÃO	24
QUADRO 2 – CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO ESTRUTURAL	30
QUADRO 3 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO	40
QUADRO 4 – CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS – TRÁFEGO LEVE E MÉDIO	46
QUADRO 5 – RESUMO DOS RESULTADOS PARA O DIMENSIONAMENTO DO MÉTODO 11/79	47
GRÁFICO 1 – RESULTADOS DO ENSAIO DE COMPACTAÇÃO INDICANDO A UMIDADE ÓTIMA....	35
GRÁFICO 2 – RESULTADOS DO ENSAIO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA	37
GRÁFICO 3 – RESULTADOS DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	39

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CONCEITOS DE DEGRADAÇÃO DO PAVIMENTO EM FUNÇÃO DO IGG	25
TABELA 2 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS.....	26
TABELA 3 – FATOR DE CORREÇÃO SAZONAL - FS	28
TABELA 4 – GRUPO DE SOLOS	31
TABELA 5 – ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA.....	37
TABELA 6 – RESUMO DA AVALIAÇÃO SUPERFICIAL PARA O TRECHO 1	41
TABELA 7 – RESUMO DA AVALIAÇÃO SUPERFICIAL PARA O TRECHO 2	42
TABELA 8 – RESULTADOS DOS CÁLCULOS PARA AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO TRECHO 1	43
TABELA 9 – RESULTADOS DOS CÁLCULOS PARA AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO TRECHO 2	44
TABELA 10 – RESULTADOS INICIAIS PARA OS TRECHOS 1 E 2	45
TABELA 11 – RESUMO DOS RESULTADOS PARA O DIMENSIONAMENTO DO MÉTODO 269/94.....	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 JUSTIFICATIVA	13
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
4.1 DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO	14
4.2 AVALIAÇÃO FUNCIONAL	14
4.2.1 MÉTODO DNIT 006/2003 - PRO	15
4.3 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL	15
4.3.1 Viga Benkelman	16
4.4 REFORÇO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	17
4.4.1 Manutenção e Restauração	17
4.5 MÉTODOS PARA DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO	18
4.6 DRENAGEM URBANA	19
5 METODOLOGIA	21
5.1 LOCALIZAÇÃO DA CIDADE E DELIMITAÇÃO DOS TRECHOS AVALIADOS	21
5.2 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS	22
5.3 AVALIAÇÃO FUNCIONAL	22
5.4 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL	25
5.5 DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO PELO MÉTODO DNER-PRO 11/79 – AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	27
5.6 DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO PELO MÉTODO DNER-PRO 269/94 – PROJETO DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS – MÉTODO DA RESILIÊNCIA - TECNAPAV	31
5.7 DRENAGEM DOS TRECHOS	32
5.8 SOLUÇÃO DE PROJETO	33
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
6.1 ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO E RESISTÊNCIA DO SOLO	34
6.1.1 Ensaio de Compactação	34
6.1.2 Ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC)	36
6.1.3 Ensaio de Massa Específica do Solo	38
6.1.4 Ensaio de Granulometria por Peneiramento e Sedimentação	38
6.2 AVALIAÇÃO FUNCIONAL	40
6.3 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL	42
6.4 DIAGNÓSTICO DOS TRECHOS	44
6.5 DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO DNER-PRO 11/79	45
6.6 DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO DNER-PRO 269/94	47
6.7 DRENAGEM EXISTENTE NOS TRECHOS EM ESTUDO	47
6.8 MEDIDA CORRETIVA PROPOSTA PARA O PAVIMENTO	48
7 CONCLUSÕES	50
8 REFERÊNCIAS	51
9 ANEXOS	54

1 INTRODUÇÃO

As obras da construção civil tem um período de utilização relativamente grande em relação às obras de pavimentos em rodovias, pois estão mais protegidas das ações intensas, como os fatores climáticos que atingem a superfície de forma agressiva. Um pavimento é composto por uma estrutura na superfície que recebe diretamente as cargas de tráfego dissipando as tensões para as camadas inferiores até o subleito, conforme o tipo do pavimento. Uma fundação é preparada para receber as solicitações superficiais, sendo de grande relevância estudos preliminares de resistências verificando sua capacidade de suporte (FONSECA, 2013).

Os estudos em pavimentação no país estão ganhando força, pelo fato de não haver profissionais e referências suficientes para elaboração de projetos e execuções com acompanhamento qualificado. Os materiais que compõe o asfalto são focos de pesquisas para aumento de vida útil sem breves manutenções, considerando misturas novas, aditivos e reciclagem. Os pavimentos mais comuns são classificados basicamente em rígido, semi-rígido e flexível, devido às diferentes formas de execução e elaboração de projetos, sendo o pavimento rígido um método mais duradouro quanto às manutenções, com uma vida útil praticamente o dobro do pavimento flexível, porém seus custos de implantação ainda não justificam a completa substituição.

As rodovias são constituídas em sua maioria por pavimentos flexíveis que tem função de proporcionar segurança e conforto aos que usufruem do rolamento. Os materiais de sua composição sofrem desgastes diariamente pelas solicitações do tráfego e ações climáticas, contribuindo para uma degradação constante e prejudicial para a vida útil, perdendo aos poucos capacidade estrutural e diminuindo a serventia. Dessa forma, fazem-se necessários estudos preliminares para manutenções e restaurações dos trechos mais afetados. A realização de uma intervenção tem por objetivo restabelecer a capacidade estrutural e funcional para obter uma serventia de qualidade, reduzindo acidentes e manutenções nos automóveis nas vias reforçadas, proporcionando condições adequadas de uso (FRANCISCO, 2012).

O estudo deste trabalho visa projetar o reforço no pavimento flexível da Avenida Nelson Maior na cidade de Terra Rica – Paraná, através de dois métodos normalizados pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) atual

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), realizando avaliações superficiais e estruturais para dimensionamento, mediante ensaios regidos por normas técnicas. O trecho em questão é de grande importância para deslocamentos da população na cidade, garantindo também o acesso de caminhões que transitam na região e acabam desviando o trajeto por ruas laterais devido à péssima serventia do local.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar defeitos em trechos da Avenida Nelson Maior na cidade de Terra Rica – Paraná, para diagnosticar o estado atual do pavimento e propor as devidas correções que podem ser, restauração superficial, reforço ou reconstrução.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar o cálculo de reforço de pavimento flexível na Avenida Nelson Maior nos trechos Avenida São Paulo/Avenida Paraná e Avenida Paraná/Avenida São Paulo adotando os seguintes procedimentos:

- Avaliação funcional através do método DNIT 006/2003-PRO – Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos;
- Avaliação estrutural pelo método DNER-ME 024/94 – Pavimento – determinação das deflexões pela Viga Benkelman;
- Diagnosticar a situação atual dos trechos;
- Dimensionar a camada de reforço conforme os métodos: DNER-PRO 11/79 – Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis e DNER-PRO 269/94 – Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis;
- Propor uma solução para a restauração do pavimento em estudo a partir dos resultados encontrados através dos dois métodos de dimensionamento.

3 JUSTIFICATIVA

As estradas no Brasil estão cada vez mais precárias em função do crescimento acelerado da frota de veículos pesados para escoamento de produtos e insumos, além da falta de investimento federal, estadual e municipal em um pavimento de qualidade que traga conforto, segurança e economia ao usuário.

Os gastos ao se trafegar em uma rodovia pedagiada em bom estado compensam os custos que se tem na manutenção dos veículos que são maiores em rodovias com baixa qualidade.

Os investimentos em infraestrutura colaboram para um país mais desenvolvido, porém quando não há manutenções periódicas nas estradas, torna-se inviável aos cofres públicos sua total recuperação após anos de esquecimento. Portanto, é imprescindível que engenheiros de infra-estrutura em transportes rodoviários se atualizem e se qualifiquem, buscando novos estudos, atualizações de normas e trabalhos relevantes para preservar a qualidade dos pavimentos e minimizar custos operacionais.

A restauração de um pavimento flexível tem por finalidade oferecer boas condições de uso através de projetos bem elaborados e execução acompanhada por equipe técnica qualificada. Sendo a pavimentação um ramo da engenharia pouco escolhido para pesquisa e atuação no mercado, se comparado a estruturas, há carência de bibliografias, materiais e publicações no Brasil para auxiliar os profissionais.

Diante do exposto acima, este trabalho referente a cálculo de reforço e soluções de restauração em pavimentos flexíveis propõe contribuir com engenheiros da área e estimular conhecimento próprio.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO

O pavimento é uma estrutura que visa trazer conforto e segurança aos seus usuários, através de boas condições de rolamento. É projetado para suportar condições climáticas e esforços de tráfego estimado em anos, conforme especificado em projeto. Há dois tipos mais executados de pavimento, sendo o rígido constituído por uma placa de concreto que pode ser armada ou não após a regularização do subleito e o pavimento flexível que é composto de subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento asfáltico contendo várias composições em suas misturas de agregados e ligantes (BERNUCCI et al, 2008).

4.2 AVALIAÇÃO FUNCIONAL

A superfície do pavimento onde está aplicado o revestimento é a camada principal para se verificar a serventia que proporciona conforto no rolamento e segurança para seus usuários. Os defeitos surgem principalmente por solicitações de tráfego comprometendo a capacidade estrutural e ações climáticas desgastando a superfície, classificando sua gravidade por diferentes métodos, sendo os principais (BERNUCCI et al, 2008):

- DNIT 006/2003-PRO – Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos, que apresenta o método de cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG);
- DNIT 007/2003-PRO – Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos, que avalia a superfície em subtrechos homogêneos;

- DNIT 008/2003-PRO – Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos, que realiza um levantamento visual contínuo na superfície do pavimento;
- DNIT 009/2003-PRO – Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos, que calcula o valor da serventia atual (VSA).

4.2.1 Método DNIT 006/2003-PRO

O método precede de levantamentos de defeitos superficiais, sua classificação e medição de deformações permanentes em milímetros nas trilhas de roda com trechos homogêneos pré-definidos e inseridos em um inventário para reconhecimento dos defeitos e determinação de fatores de ponderação conforme a frequência de cada tipo de falha para cálculo do índice de gravidade individual e a seguir o somatório desses índices para obtenção do Índice de Gravidade Global (IGG) em cada trecho homogêneo separadamente (DNIT 006/2003 – PRO, 2003).

Após determinação do IGG, relacionam-se esses valores com os limites impostos pela norma e adquirem-se os conceitos da condição do pavimento atual.

4.3 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

O comportamento estrutural do pavimento se deve à capacidade de suporte às cargas de tráfego com apenas deformações elásticas e avalia se há ocorrência de deformações plásticas no qual o pavimento perde a resistência, deixando assim de cumprir sua função que é proporcionar conforto e segurança aos que utilizam as vias.

Os principais métodos para avaliação estrutural de um pavimento, no qual fornece dados suficientes para uma análise da deficiência atual que compromete a serventia aos usuários são por meio de investigações destrutivas e não-destrutivas (DNIT, 2006).

A realização de levantamentos de defeitos por métodos destrutivos com amostras deformadas ou indeformadas oferece uma grande quantidade de informações quanto às propriedades do solo e do revestimento por meio de ensaios de laboratório. Porém estes métodos prejudicam o andamento do tráfego que necessitará ser interrompido além de aumentar a quantidade de defeitos no segmento em estudo devido à retirada de amostras. Outro ponto a se considerar é que os ensaios executados em laboratório muitas vezes possuem baixa produtividade pela sua complexidade e demora por resultados.

Os levantamentos não-destrutivos são ensaios que visam medir a deflexão que o pavimento sofre após aplicação de uma carga pré-definida. Estes levantamentos são medidos em centésimos de milímetros e fornecem uma bacia deflectométrica no qual é possível avaliar a capacidade de suporte em trechos sequenciais ao longo de uma rodovia, contribuindo para uma boa produtividade por ser um ensaio mais dinâmico. Por este motivo essas investigações são as mais frequentes nas verificações estruturais e podem ser realizadas pelos equipamentos: Viga Benkelman (VB), Dynaflect e o Falling Weight Deflectometer (FWD). Dentre os três equipamentos, o mais utilizado é a VB pela praticidade e simplicidade do ensaio (DNIT, 2006).

4.3.1 Viga Benkelman

Um método eficiente e prático para o cálculo da bacia deflectométrica no decorrer de um pavimento é a utilização do equipamento Viga Benkelman aferida pela norma DNER-PRO 175/94 – Aferição de Viga Benkelman, que fornece deflexões elásticas com a aplicação de uma carga específica através de um eixo de carga e estabelece a capacidade que o trecho em sua área de influência tem de absorver cargas de impacto, simulando um tráfego futuro (DNER-ME 024/94, 1994).

A viga Benkelman mostrada na Figura 1 tem precisão de centésimo de milímetro constituída por um conjunto de sustentação, vibrador e trava de proteção.

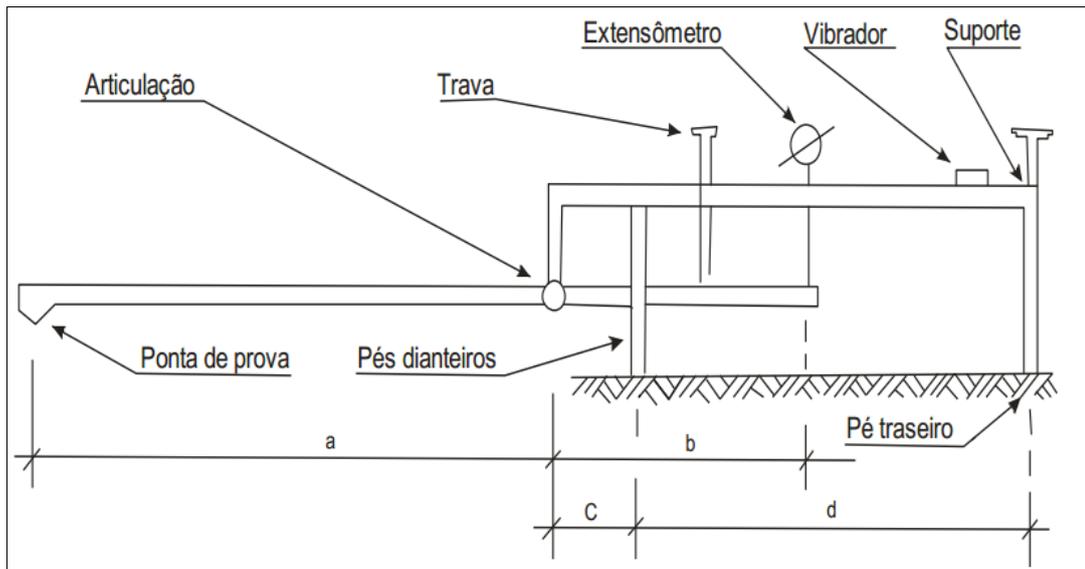


Figura 1 – Esquema de Viga Benkelman
Fonte: DNIT 133/2010 – ME (2010, p. 4).

4.4 REFORÇO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

4.4.1 Manutenção e Restauração

Como toda estrutura, o pavimento tem que passar por manutenções e restaurações no decorrer de sua vida útil, para que não perca a capacidade de suporte e sua função de proporcionar um rolamento seguro. A reestruturação de um pavimento flexível consiste em acrescentar novas camadas com mistura asfáltica sobre a antiga para ampliar seu suporte estrutural, além de corrigir defeitos que possam conter na superfície, permitindo uma boa serventia (SENÇO, 2001). Porém é importante frisar que em alguns casos quando os defeitos obtidos pelo conjunto de avaliações (estrutural e funcional) revelam colapso da estrutura do pavimento, como por exemplo, altos valores de deflexões que refletem problemas estruturais nas camadas inferiores como base, sub-base e subleito, há necessidade de fresagem e até retirada total e reconstrução do pavimento.

O estudo para viabilidade de execução do reforço é importante para saber até onde se pode esperar para uma intervenção, visto que quanto mais degradado, mais caras serão as medidas corretivas.

O pavimento está na etapa de consolidação enquanto ainda suporta as cargas de tráfego para o qual foi calculado, depois entra na etapa elástica quando sofre deflexões recuperáveis, onde o pavimento flete e volta ao seu estado original, e por fim entra na etapa da fadiga para o qual não suporta mais o carregamento aplicado, pois com a repetição das solicitações das cargas do tráfego inicia a fase plástica, onde não retorna mais ao seu estado de origem, ocasionando dessa forma, cada vez mais desgastes de vários tipos em sua superfície, como o afundamento que causa a trilha de roda (SENÇO, 2001).

Com a perda de suporte estrutural após a fase de fadiga, dependendo do estado em que se encontra, o reforço terá um custo elevado, podendo ser necessário reforçar também as camadas inferiores (base, sub-base e subleito) ou até mesmo uma completa reconstrução. No entanto, com intervenções antecipadas, há precisão apenas de camadas de reforço sobre o pavimento existente, trazendo benefícios de suporte para um novo tráfego e se tornando economicamente mais viável (SENÇO, 2001).

4.5 MÉTODOS PARA DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO

Segundo Balbo (2007), atualmente existem vários métodos para dimensionar a espessura de reforço de uma nova camada e a utilização de diferentes critérios de ruptura, como a capacidade de suporte nas camadas que o pavimento atual se encontra para que não ocorra deformações plásticas ou ruptura por cisalhamento, a consideração de deformações elásticas excessivas e o desgaste do pavimento na superfície, ocasionando uma serventia inadequada aos usuários. Para evitar as deformações que comprometa a serventia e a fadiga na camada de reforço, calcula-se uma deflexão admissível no qual será o máximo que poderá ocorrer com as aplicações de cargas do tráfego também calculadas, além de prever espessuras que reduza as deflexões atuais ao mínimo de projeto.

Os principais métodos para cálculo de reforço de pavimento flexível são: Método de Resistência ou CBR, DNER-PRO 11/79 – Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis – Procedimento B, Método do Instituto do Asfalto, DNER-PRO 10/79 – Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis – Procedimento A, DNER-PRO 159/85 – Projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semi-rígidos e DNER-PRO 269/94 – Projeto de restauração de pavimentos flexíveis - TECNAPAV (BALBO, 2007).

O método de avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis tem como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para a avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis existentes, apontar causas de suas deficiências e fornecer elementos para o cálculo da vida restante ou do reforço necessário para um novo número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão (N) durante o período considerado. Este procedimento é baseado no critério da deformabilidade, cujos valores numéricos são expressos pelas medidas das deflexões recuperáveis (DNIT-PRO 11/79, 1979).

TECNAPAV é uma norma técnica que define um procedimento a ser utilizado no projeto de restauração de pavimentos flexíveis, apresentando alternativas em concreto asfáltico, camadas integradas de concreto asfáltico e pré-misturado em tratamento superficial e em lama asfáltica, baseado em conceitos da Mecânica dos Pavimentos (DNER-PRO 269/94, 1994).

4.6 DRENAGEM URBANA

De acordo com a Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (2012), o planejamento urbano compreende sistemas integrados no qual devem ser compatibilizados os projetos de abastecimento de água, rede de esgoto, drenagem pluvial, pavimentação, urbanística, entre outros. Os planejamentos visam à melhoria na qualidade de vida da população, como água potável disponível, pavimentação e um sistema sanitário eficiente, porém há um caso particular que é a drenagem urbana, onde irá ocorrer existindo ou não um planejamento, pois o ciclo hidrológico continua sendo de grande ou pequeno volume. No entanto, as causas e os problemas serão minimizados ou até extintos com uma boa implantação de sistemas para escoamento de água, além disso, quanto melhor for o estudo e a execução, menos onerosos ficaram os custos quando da necessidade de reavaliação e reforço do sistema para suportar chuvas mais intensas, levando em conta que a micro drenagem deve resistir chuvas intensas ocorridas em um período mínimo de dez anos.

A estrutura de um sistema de escoamento de águas pluviais é composta por vários dispositivos, sendo que a sarjeta juntamente com a guia tem por finalidade conduzir toda água precipitada no pavimento para as bocas de lobo, sendo estas, do tipo simples em que há uma abertura na guia e desemboca na caixa coletora localizada em baixo do passeio, com grelha

onde a caixa coletora fica logo abaixo da grelha e pode ser também do tipo combinada, onde há interação das duas primeiras, direcionando as águas para as galerias subterrâneas e assim para os mananciais (DNIT - MANUAL DE DRENAGEM DE RODOVIAS, 2006).

5 METODOLOGIA

5.1 LOCALIZAÇÃO DA CIDADE E DELIMITAÇÃO DOS TRECHOS AVALIADOS

O levantamento dos dados para diagnóstico do pavimento atual e cálculo de reforço será realizado no município de Terra Rica (Figura 2) situada no noroeste do Paraná, com divisa para o Estado de São Paulo através do rio Paranapanema. O local escolhido é a Avenida Nelson Maior, sendo os trechos Avenida São Paulo/Avenida Paraná e Avenida Paraná/Avenida São Paulo (Figura 3) com dimensão total de 22 x 416(m) e área de 7.870,17 metros quadrados descontando os canteiros centrais. Foi escolhida essa área por estar com um pavimento em alta degradação, comprometendo a segurança e o rolamento dos usuários, necessitando de reparos imediatos.

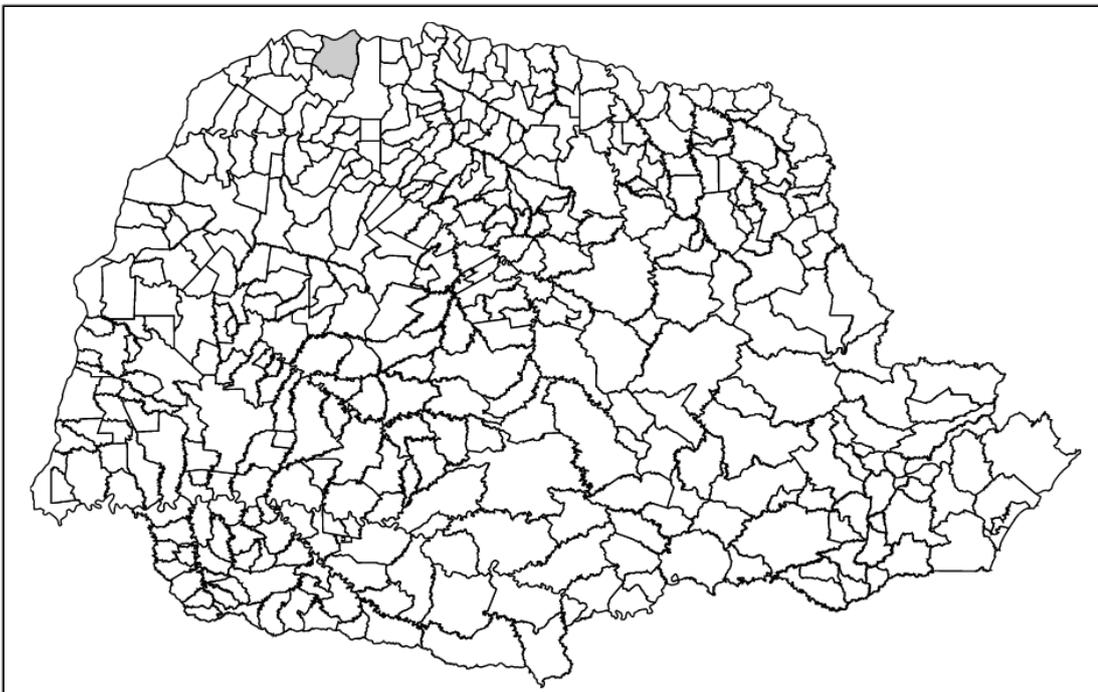


Figura 2 – Localização da Cidade de Terra Rica no Estado do Paraná
Fonte: IBGE (2014).

A seguir a localização dos trechos Avenida São Paulo/Avenida Paraná e Avenida Paraná/Avenida São Paulo, onde será realizado o estudo e o dimensionamento de reforço.

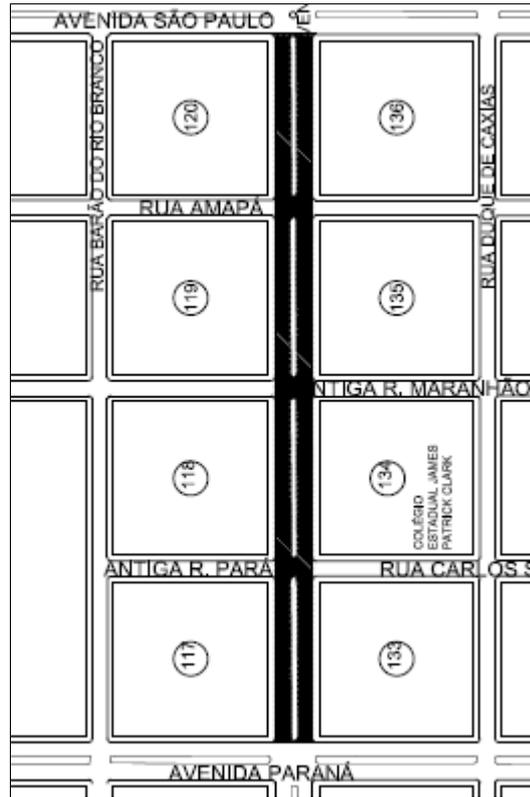


Figura 3 –Avenida Nelson Maior e os Trechos Estudados
Fonte: Autoria própria.

5.2 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

O ensaio para análise estrutural com a Viga Benkelman será realizado por uma empresa da área, situada na cidade de Apucarana – Paraná e os demais ensaios para caracterização e resistência do solo serão realizados pelo Laboratório de Solos e Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Campo Mourão (UTFPR-CM).

5.3 AVALIAÇÃO FUNCIONAL

A avaliação funcional será realizada através da norma “DNIT 006/2003 – PRO – Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos” que classificará os defeitos na superfície e as deformações plásticas nas trilhas de roda.

Como a superfície de avaliação é uma avenida com extensão reduzida se comparado com rodovias para o qual a norma foi estabelecida, o trecho Avenida São Paulo/Avenida Paraná será um segmento homogêneo e o trecho Avenida Paraná/Avenida São Paulo será outro segmento homogêneo para efeito de análises distintas, com localização dos pontos em demarcações a cada vinte metros em cada segmento no decorrer da avenida, com tinta branca enumerando as respectivas estações, pintando um traço de 0,30m x 0,025m para seção transversal e outro com três metros adiante e três metros atrás, delimitando dessa maneira a área de avaliação.

Se for encontrada alguma trilha de roda, esta deve ser medida e feita marcação do maior valor em milímetros nas estações demarcadas, utilizando uma treliça de alumínio, padrão, com 1,20m na base e uma régua móvel fixada ao centro do equipamento (Figura 4).

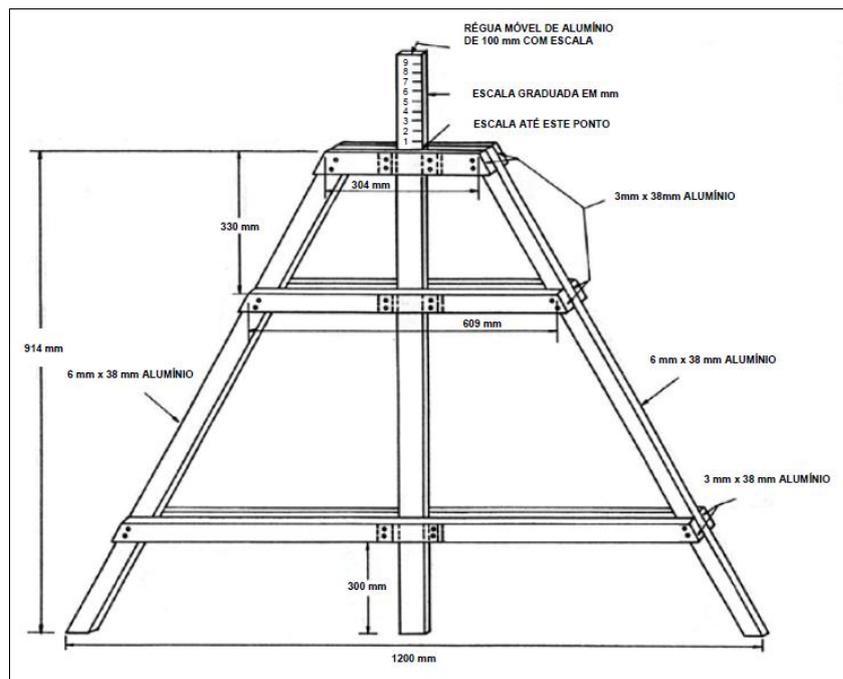


Figura 4 – Treliça para medição de flecha na trilha de roda
Fonte: DNIT 006/2003 – PRO (2003, p. 6).

Nas áreas de avaliação serão marcados todos os tipos de defeitos conforme a norma “DNIT 005/2003 – TER – Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos” utilizando as planilhas apresentadas nos Anexos A e B. Será feita uma análise da ocorrência dos defeitos e classificados por tipos obtendo um fator de ponderação para cada de acordo com o Quadro 1.

Ocorrência tipo	Codificação de ocorrências de acordo com a Norma DNIT 005/2002-TER “Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia”	Fator de ponderação (Fp)
1	Fissuras e Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR)	0,2
2	FC-2 (J e TB)	0,5
3	FC-3 (JE e TBE)	0,8
4	ALP, ATP e ALC, ATC	0,9
5	O, P, E	1,0
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

NOTA: Para efeito de ponderação quando em uma mesma estação forem constatadas ocorrências tipos 1, 2 e 3, só considerar as do tipo 3 para o cálculo da frequência relativa em porcentagem (f_r) e Índice de Gravidade Individual (IGI); do mesmo modo, quando forem verificadas ocorrências tipos 1 e 2 em uma mesma estação, só considerar as do tipo 2.

Quadro 1 – Valor do Fator de Ponderação

Fonte: Adaptado de DNIT 006/2003 – PRO (2003, p. 5).

A frequência com que ocorrem os defeitos é calculada pela fórmula (1):

$$f_r = \frac{f_a \times 100}{\eta} \quad (1)$$

onde:

f_r – frequência relativa;

f_a – frequência absoluta;

η – número de estações inventariadas

Para os valores das trilhas de roda será considerado como pista simples pela norma DNIT 06/2003 item 7.2a, calculando a média aritmética (x) das flechas medidas nas trilhas de roda interna e externa e a variância (s^2) através das fórmulas (2) e (3) respectivamente:

$$x = \frac{\sum x_i}{\eta} \quad (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{(n-1)}} \quad (3)$$

onde:

x - média aritmética dos valores das flechas medidas (TRI e TER);

x_i – valores individuais;

s – desvio padrão dos valores das flechas medidas (TRI e TER);

s^2 - variância

Dessa forma calcula-se o Índice de Gravidade Individual (IGI) pela fórmula (4):

$$IGI = f_r \times f_p \quad (4)$$

onde:

f_r - frequência relativa

f_p – fator de ponderação

Para obter o estado atual da superfície, calcula-se o Índice de Gravidade Global realizando o somatório dos Índices de Gravidade Individual, pela fórmula (5):

$$IGG = \Sigma IGI \quad (5)$$

Através dos valores do IGG, o grau de deterioração do pavimento é indicado pela Tabela 1.

Tabela 1 – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Fonte: Adaptado de DNIT 006/2003 (2003, p. 5).

5.4 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

O ensaio estrutural do pavimento será realizado com base na norma “DNER-ME 024/94 – Determinação das deflexões pela Viga Benkelman” que será aferida pela norma “DNER – PRO 175/94 – Aferição de Viga Benkelman”.

Para o ensaio é necessário:

- Um caminhão com eixo traseiro simples e roda dupla, pesado em balança própria com 8,2 tf no eixo traseiro distribuídos igualmente nas rodas. Os pneus devem ser devidamente calibrados por aparelho específico em 5,6kgf/cm² e possuir dimensões de 1000x20, 12 lonas, frisos na faixa de rodagem e com câmara. A localização dos pontos para ensaio obedece a Tabela 2.

Tabela 2 – Localização dos pontos

Largura da faixa de tráfego (m)	Distância da borda do revestimento (m)
2,70	0,45
3,00	0,60
3,30	0,75
3,5 ou mais	0,90

Fonte: Adaptado de DNER-ME 024/94 (1994, p. 3).

O caminhão é posicionado com as rodas duplas traseiras centradas em cada ponto demarcado no trecho homogêneo deixando o eixo de carga perpendicular ao eixo da pista de rolamento. Neste mesmo ponto será disposta a ponta de prova da viga, obtendo como referência uma marca feita no caminhão, e assim a trava é liberada. Liga-se o vibrador e realiza a leitura inicial (L_o) após o extensômetro marcar 0,01mm/min ou passados três minutos do caminhão ter saído da posição inicial. Desliga-se o vibrador, a trava é acionada e a viga é transportada para o próximo ponto. Com o caminhão deslocado dez metros à frente da posição inicial realiza-se a leitura final (L_f) e para determinação do raio de curvatura na bacia de deformação é realizada uma leitura vinte e cinco centímetros à frente da posição inicial. A deflexão do pavimento nos pontos ensaiados é calculada pela fórmula (6).

$$D_o = (L_o - L_f) \times \frac{a}{b} \quad (6)$$

Onde:

D_o – deflexão real ou verdadeira medida em centésimo de milímetro;

L_o – leitura inicial medida em centésimo de milímetro;

L_f – leitura final medida em centésimo de milímetro;

$\frac{a}{b}$ – dimensões da viga, conforme Figura 1.

O raio de curvatura segue pela fórmula (7) e seu esquema é mostrado na Figura 5.

$$R = \frac{6250}{2 \times (D_0 - D_{25})} \quad (7)$$

Onde:

R – raio de curvatura em metros;

D_0 – Deflexão real ou verdadeira em centésimo de milímetro;

D_{25} – Deflexão medida a vinte e cinco centímetros do ponto inicial, em centésimo de milímetro.

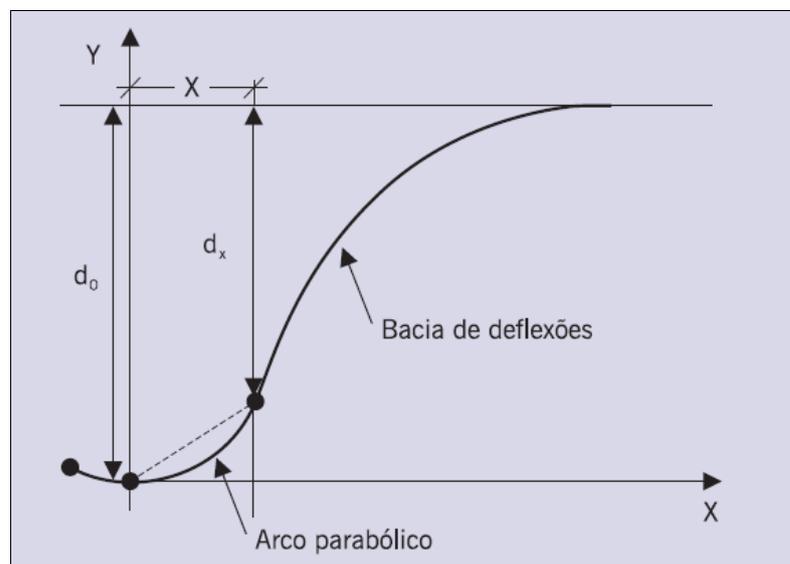


Figura 5 – Esquema de Medida do Raio de Curvatura

Fonte: Adaptado de BERNUCCI et al (2008, p. 449).

5.5 DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO PELO MÉTODO DNER-PRO 11/79 – AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Com os segmentos homogêneos definidos, realiza-se o cálculo da média aritmética das deflexões individuais pela fórmula (8):

$$D = \frac{\sum D_i}{n} \quad (8)$$

Onde:

D_i – deflexões recuperáveis individuais

D – média aritmética dos valores individuais

n – número de deflexões individuais medidas

O desvio padrão da amostra é calculado pela fórmula (9).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(D_i - D)^2}{n-1}} \quad (9)$$

A deflexão característica é então calculada com a fórmula (10):

$$D_c = D + \sigma \quad (10)$$

O cálculo das deflexões deve considerar o índice pluviométrico para que os valores sejam os mais reais possíveis e que sejam calculados para a situação mais desfavorável que é a realização do ensaio após uma temporada de chuva no qual o solo estará com sua umidade máxima. Levando em consideração que na prática não há tempo para esperar uma temporada chuvosa, nos cálculos considera-se um fator de correção sazonal (Tabela 3), podendo dessa forma, serem realizados os ensaios em qualquer época levando em conta a situação mais desfavorável para os cálculos. Para um cálculo mais exato é recomendável utilizar dados de pesquisas realizadas para índices pluviométricos da região em estudo.

Tabela 3 – Fator de Correção Sazonal – F_s

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

Fonte: Adaptado de DNER-PRO 11/79 (1979, p. 9).

Considerando o fator de correção calcula-se a deflexão de projeto (D_p) através da fórmula (11):

$$D_p = D_c \times F_s \quad (11)$$

Onde:

D_p – Deflexão característica corrigida ou deflexão de projeto, em centésimo de milímetro;

D_c – deflexão característica;

F_s – fator de correção sazonal

O reforço no pavimento existente tem que ser projetado para que não ocorram defeitos superficiais e estruturais, limitando-se com isso a uma deflexão admissível (D_{adm}) medida em centésimo de milímetro, que resiste aos esforços máximos aplicados sem causar danos à estrutura. Essa deflexão depende da mistura asfáltica como revestimento, da resistência que a base e sub-base comportam e do número N de solicitações equivalentes ao eixo padrão de 8,2tf. A deflexão admissível para pavimentos flexíveis, constituídos de revestimento de concreto betuminoso sobre base granular é calculada pela fórmula (12):

$$\text{Log } D_{adm} = 3,01 - 0,176 \times \log N \quad (12)$$

Onde:

N – número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão 8,2t

Para avaliação do pavimento e tomada de decisão quanto à correção dos defeitos atuais e prolongamento da vida útil de modo funcional e/ou estrutural, alguns parâmetros são levados em consideração e analisados conforme o Quadro 2. Os parâmetros são:

- Número de solicitações de eixos equivalente ao eixo padrão de 8,2tf (N);
- Deflexão de projeto (D_p);
- Raio de curvatura (R);
- Deflexão admissível (D_{adm});
- Índice de Gravidade Global (IGG).

Hipóteses	Dados Deflectométricos	Qualidade Estrutural	Necessidade de Estudos Complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas Corretivas
I	$D_p \leq D_{adm}$ $R \geq 100$	BOA	NÃO	----	Apenas correções na superfície
II	$D_p > D_{adm}$ $R \geq 100$	Se $D_p \leq 3 D_{adm}$ REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço
		Se $D_p > 3 D_{adm}$ MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
III	$D_p \leq D_{adm}$ $R < 100$	REGULAR PARA MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
IV	$D_p > D_{adm}$ $R < 100$	MÁ	SIM	Resistência	Reforço ou Reconstrução
V	---	MÁ (1)	SIM	Resistência	Reconstrução

(1) O pavimento apresenta deformações permanentes e rupturas plásticas generalizadas ($IGG > 180$).

Quadro 2 – Critérios para avaliação estrutural

Fonte: Adaptado de DNER - PRO 11/79 (1979, p. 13).

Com base no quadro acima, será verificada a necessidade de medidas corretivas e qual ação deverá ser tomada. O dimensionamento da camada de reforço em concreto betuminoso pelo critério deflectométrico utiliza as deflexões ensaiadas para avaliação estrutural, um fator de redução de deflexão próprio do material utilizado no reforço $K=40$ e obedece a um limite máximo de cinco centímetros de espessura para reforço em uma única camada, sendo esta calculada pela fórmula (13):

$$hcb = 40 \log \frac{D_p}{D_{adm}} \quad (13)$$

Onde:

hcb – espessura de reforço

D_p – deflexão de projeto

D_{adm} – deflexão admissível

5.6 DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO PELO MÉTODO DNER-PRO 269/94 – PROJETO DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS – MÉTODO DA RESILIÊNCIA – TECNAPAV

O método da TECNAPAV consiste em um procedimento para projeto de reforço de pavimento flexível, levando em conta as propriedades resilientes do solo, como o Índice de Suporte Califórnia (ISC) pela norma “NBR 9895 – Solo – Índice de Suporte Califórnia” e granulometria conforme a norma “NBR 7181 – Solo – Análise Granulométrica” para verificar a resistência e a percentagem de silte no solo, respectivamente. Com os valores desses ensaios, o solo deverá ser classificado em três grupos diferentes, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Grupo de Solos

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

Fonte: Adaptado de DNER-PRO 269/94 (1994, p. 8).

Para camada granular com espessura menor ou igual a quarenta e cinco centímetros, adotar:

Tipo I: $I_1 = 0$ e $I_2 = 0$

Tipo II: $I_1 = 1$ e $I_2 = 0$

Tipo III: $I_1 = 0$ e $I_2 = 1$

Para camada granular com espessura maior que quarenta e cinco centímetros, adotar:

$I_1 = 0$ e $I_2 = 1$

A média aritmética das deflexões, o desvio padrão e a deflexão característica são calculados através das fórmulas (8), (9) e (10), respectivamente. Com esses parâmetros, determina-se então a espessura efetiva (h_{ef}) em centímetros pela fórmula (14), sendo a

espessura equivalente ao revestimento existente, considerada no cálculo da camada de recapeamento, dentre o intervalo $0 \leq h_{ef} \leq h_e$.

$$h_{ef} = -5,737 + \frac{807,961}{D_c} + 0,972 \times I_1 + 4,101 \times I_2 \quad (14)$$

Onde:

h_{ef} – espessura efetiva, em cm;

D_c – deflexão característica, em 10^{-2} mm;

I_1 e I_2 – constantes relacionadas às características resilientes do solo de subleito;

h_e – espessura total da camada betuminosa, em centímetros.

Deve-se comparar o valor calculado com a espessura da camada betuminosa e considerar as seguintes relações:

Se $h_{ef} < 0$ - adotar $h_{ef} = 0$,

Se $h_{ef} > h_e$ - adotar $h_{ef} = h_e$.

A deflexão admissível será calculada pela fórmula (15), levando em conta a variável N correspondente ao número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão 8,2t.

$$\log \times D_{adm} = 3,148 - 0,188 \times \log N \quad (15)$$

O cálculo da espessura do reforço em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) é realizado pela fórmula (16):

$$HR = -19,015 + \frac{238,14}{\sqrt{D_{adm}}} - 1,357 \times h_{ef} + 1,016 \times I_1 + 3,893 \times I_2 \quad (16)$$

Onde:

HR – espessura da camada de reforço em concreto asfáltico, calculado em centímetros.

5.7 DRENAGEM DOS TRECHOS

A drenagem urbana não é o foco deste trabalho, mas como é um fator que afeta diretamente a qualidade do pavimento com infiltrações laterais e no próprio leito carroçável,

será feita uma análise da existência desse sistema e como está implantado nos trechos em estudo.

Primeiramente será feito um levantamento visual para verificação da existência de sarjetas e bocas de lobo e a realização de um croqui com o sentido corrente das águas. Em seguida coletará dados na prefeitura da cidade para averiguar se há algum sistema complementar quando foi implantado o pavimento inicial, assim como o histórico de inundações que vieram a ocorrer.

5.8 SOLUÇÃO DE PROJETO

Após levantamentos e avaliações do estado superficial e estrutural do pavimento e o dimensionamento realizado pelos métodos DNER-PRO 11/79 – Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis e DNER-PRO 269/94 – Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis, serão analisados e comparados os resultados para que seja adotada uma camada de reforço no pavimento flexível da maneira que melhor atenda aos dois métodos, buscando o mais próximo de uma satisfação executiva, econômica e segura aos usuários. Com os resultados das espessuras de reforço e as medidas corretivas superficiais calculadas será proposto um tipo de mistura asfáltica e a espessura mais eficiente para execução.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO E RESISTÊNCIA DO SOLO

Os ensaios para classificação do solo quanto à sua granulometria e resistência foram executados no Laboratório de Solos e Materiais da UTFPR-CM, juntamente com auxílio do técnico de laboratório e professora orientadora, mediante as respectivas normas técnicas de cada ensaio. A amostra sempre que necessário foi preparada seguindo a norma “NBR 6457 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização”.

6.1.1 Ensaio de Compactação

O ensaio obedeceu à norma “NBR 7182 – Solo – Ensaio de Compactação”, no qual se determina o teor de umidade ótima através da relação, teor de umidade e massa específica aparente seca, com o solo compactado.

A amostra foi utilizada com reuso de material e secagem prévia até a umidade higroscópica. Como a avaliação é feita ao sub-leito, a energia de compactação utilizada foi energia normal e devido à amostra passar integralmente na peneira 4,8mm foi adotado o cilindro pequeno. Segue as Figuras 6,7,8 e 9 que expõe a sequência de realização do ensaio.



Figura 6 – Secagem da Amostra ao Ar Livre
Fonte: Autoria própria.



Figura 7 – Compactação da Amostra
Fonte: Autoria própria.



Figura 8 – Extração da Amostra
Fonte: Autoria própria.



Figura 9 – Amostra Pronta para Pesagem
Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 1 mostra os resultados calculados conforme a norma e a determinação da umidade ótima para o solo em estudo.

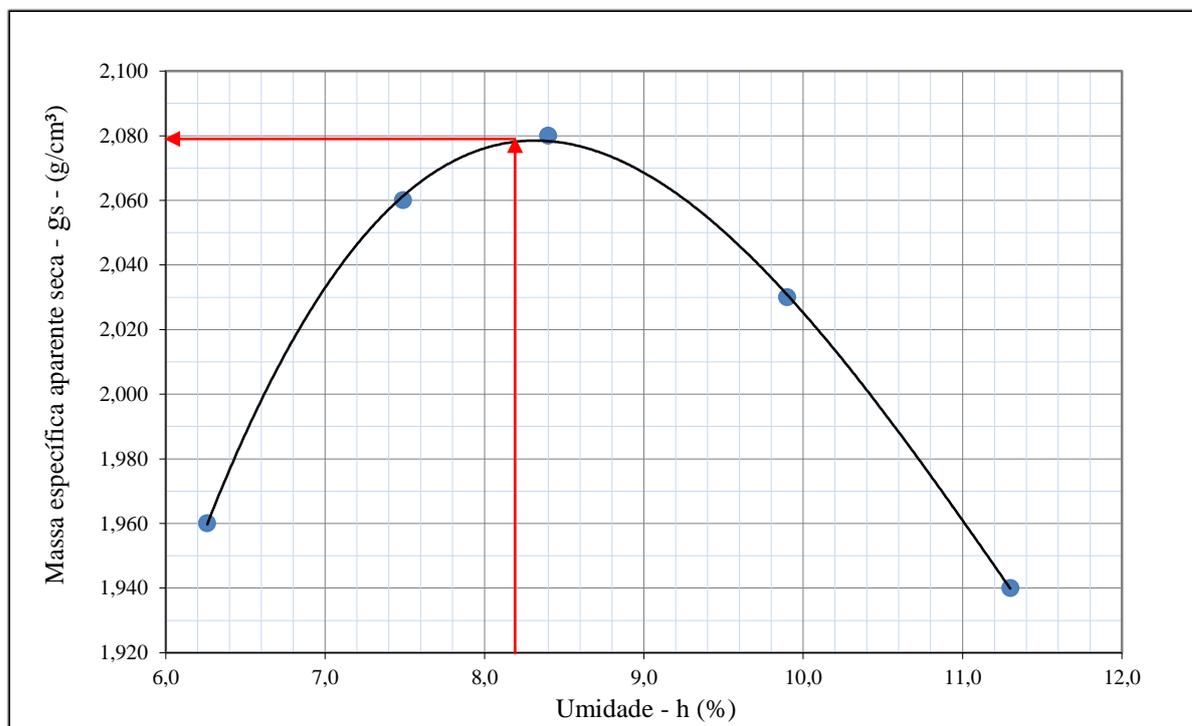


Gráfico 1 – Resultados do Ensaio de Compactação Indicando a Umidade Ótima
Fonte: Autoria própria.

Segundo o gráfico acima, a massa específica aparente seca máxima corresponde a 2,079 g/cm³ indicando uma umidade ótima de 8,2 %.

6.1.2 Ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Conforme o ensaio de compactação, também foi aplicado energia normal na amostra do ISC para manter coerência. Os procedimentos e cálculos, assim como o tamanho do cilindro deste ensaio foram regidos pela norma “NBR 9895 – Solo – Índice de Suporte Califórnia”. As Figuras 10, 11, 12 e 13 indicam os passos seguidos no ensaio.



Figura 10 – Compactação para Determinação do ISC
Fonte: Autoria própria.



Figura 11 – Amostra Pronta para Imersão
Fonte: Autoria própria.



Figura 12 – Molde Imerso para Saturação
Fonte: Autoria própria.



Figura 13 – Penetração na Prensa Elétrica
Fonte: Autoria própria.

Após a realização do ensaio na prensa elétrica, foram obtidos dados e realizados os cálculos, utilizando como constante do anel dinamométrico igual a 1,0588kgf/cm, com certificado de calibração, área do pistão de 19,30cm² e velocidade de penetração do pistão 1,27mm/min. O Gráfico 2 mostra a penetração no corpo de prova em função da pressão exercida. As medidas de expansão do solo não foram realizadas pelo fato de não ter o equipamento “porta extensômetro” no laboratório.

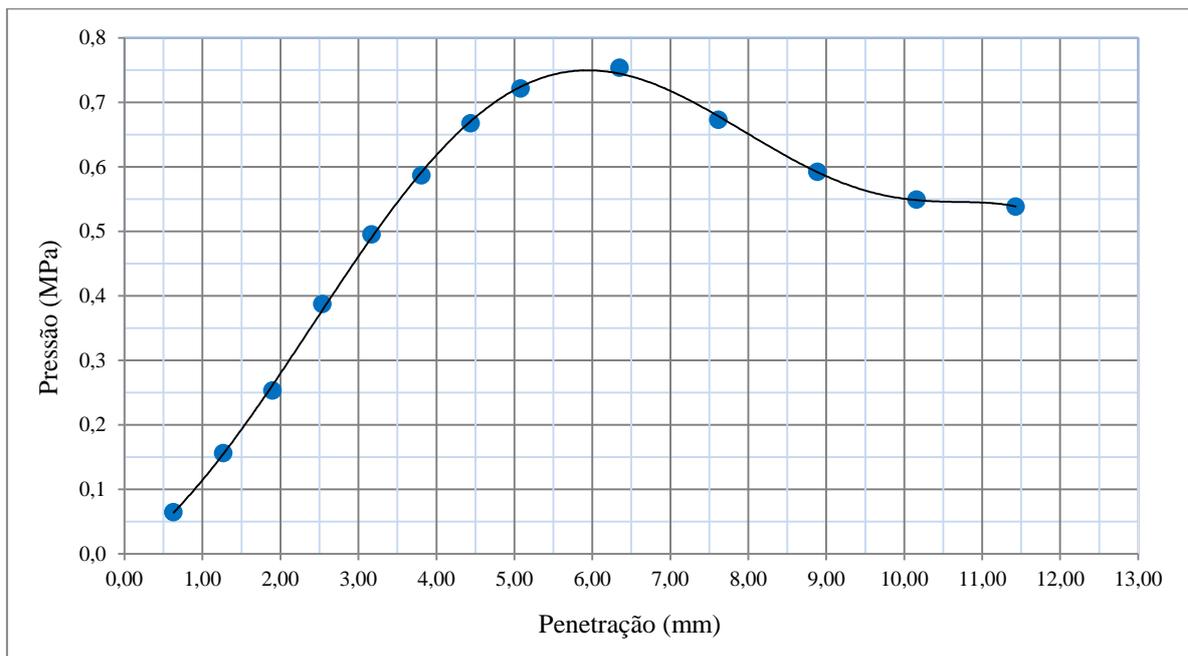


Gráfico 2 – Resultados do Ensaio do Índice de Suporte Califórnia
Fonte: Autoria própria.

A Tabela 5 indica os resultados do Índice de Suporte Califórnia com penetração a 2,54 e 5,08mm e o valor adotado para o cálculo no dimensionamento.

Tabela 5 – Índice de Suporte Califórnia

Penetração (mm)	Pressão (Mpa)		ISC(%)	ISC Adotado(%)
	Calculada	Padrão		
2,54	0,39	6,90	5,62	6,97
5,08	0,72	10,35	6,97	

Fonte: Autoria própria.

6.1.3 Ensaio de Massa Específica do Solo

O ensaio de massa específica seguiu a norma “NBR 6508 – Grãos de Solos que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da Massa Específica” com bomba a vácuo, indicada na Figura 14.



Figura 14 – Ensaio Através da Bomba a Vácuo
Fonte: Autoria própria.

Foram realizados dois ensaios com picnômetros distintos e a amostra seca ao livre até a umidade higroscópica . Os cálculos da massa específica para as duas amostras resultaram em uma diferença menor que $0,02\text{g/cm}^3$ obtendo a média de $\delta = 2,663\text{g/cm}^3$.

6.1.4 Ensaio de Granulometria por Peneiramento e Sedimentação

Os ensaios (Figuras 15 e 16) e os cálculos obedecem à norma “NBR 7181 – Solo – Análise Granulométrica”.



Figura 15 – Granulometria por Peneiramento
Fonte: Autoria própria.



Figura 16 – Granulometria por Sedimentação
Fonte: Autoria própria.

Através da análise granulométrica por peneiramento e sedimentação o solo obteve um percentual predominante em areia fina e areia média, classificando o solo em material granular, sendo o mesmo não coesivo e não plástico. Dessa forma, a taxa de silte e argila encontrada apresentaram-se em níveis baixos como indica o Gráfico 3.

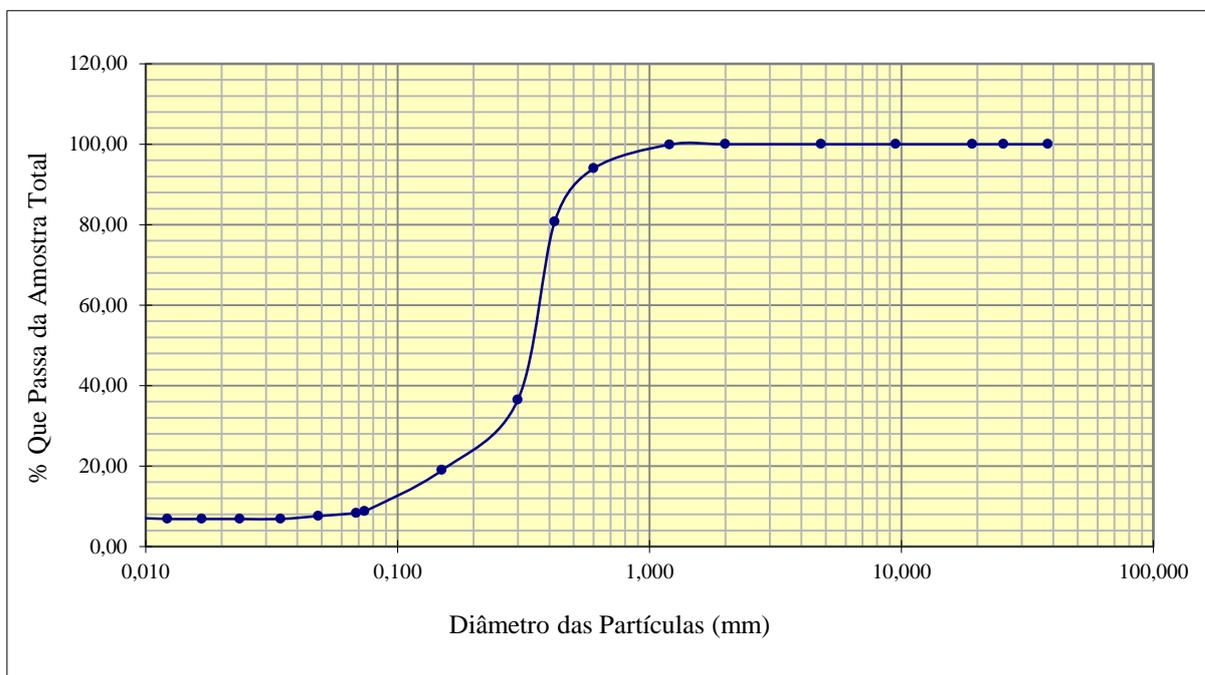


Gráfico 3 – Resultados da Análise Granulométrica
Fonte: Autoria própria.

No Quadro 3 a seguir apresentam-se os resultados dos ensaios realizados para o solo existente na Avenida Nelson Maior.

Propriedades	hot (%)		ISC (%)		δ (g/cm ³)	
		8,20		6,97		2,66
Granulometria (%)	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
	0,00	0,00	19,27	73,15	0,43	7,15

Quadro 3 – Resumo das Características do Solo

Fonte: Autoria própria.

6.2 AVALIAÇÃO FUNCIONAL

Com a localização da cidade e os trechos definidos, serão adotados para melhor entendimento do trabalho, o segmento homogêneo Avenida Paraná/ Avenida São Paulo sendo o “Trecho 1” e o segmento homogêneo Avenida São Paulo/ Avenida Paraná sendo o “Trecho 2”.

Através da avaliação funcional realizada pelos inventários dos Anexos A e B, observou-se ausência de trilhas de roda nos dois trechos, porém inúmeros defeitos superficiais foram detectados (Figura 17 e 18) e classificados para realização do cálculo do Índice de Gravidade Individual e Índice de Gravidade Global.



Figura 17 – Frequência Constante de Remendos

Fonte: Autoria própria.



Figura 18 –Deterioração Avançada com Painéis Profundas
Fonte: Autoria própria.

Foi calculada a frequência relativa para os seguintes defeitos (ver Anexo C) com a Fórmula (1), o índice de gravidade individual através da fórmula (4) utilizando o fator de ponderação do Quadro 1, o índice de gravidade global pela fórmula (5) e por fim a conceituação do pavimento conforme a Tabela 1. A seguir os resultados da avaliação superficial demonstrada pelas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Resumo da Avaliação Superficial para o Trecho 1

Defeito	Classe	Frequência Relativa	Índice de Gravidade Individual
TTC	FC - 1	18,18	3,64
TLC	FC - 1	9,09	1,82
P	-	45,45	45,45
D	-	100,00	30,00
RS	-	81,82	49,09
IGG			130
CONCEITO			RUIM

Fonte: Autoria própria.

Tabela 7 – Resumo da Avaliação Superficial para o Trecho 2

Defeito	Classe	Frequência Relativa	Índice de Gravidade Individual
TTC	FC - 1	45,45	9,09
TLC	FC - 1	22,73	4,55
TB	FC - 2	9,09	4,55
P	-	50,00	50,00
D	-	100,00	30,00
RS	-	100,00	60,00
IGG			158
CONCEITO			RUIM

Fonte: Autoria própria.

6.3 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

Os procedimentos e cálculos obedecem à norma DNER-ME 024/94, sendo os pontos demarcados pela Tabela 2. A Figura 19 mostra o caminhão se posicionando no ponto inicial para realização das leituras. A Viga Benkelman foi aferida conforme a norma DNER-PRO 175/94 pela empresa que realizou o ensaio e sua constante (k ou a/b) calculada é igual a 2,043.



Figura 19 – Caminhão Basculante no Ensaio da Viga Benkelman
 Fonte: Autoria própria.

Com a localização das estacas definidas, realizaram-se as leituras inicial e final nas posições direita (D) e esquerda (E) do segmento homogêneo para o cálculo da deflexão real conforme a Fórmula (6) e em seguida novas leituras a vinte e cinco centímetros do ponto inicial para o cálculo do raio de curvatura através da Fórmula (7), sendo os resultados indicados na Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 8 – Resultados dos Cálculos para Avaliação Estrutural do Trecho 1

ESTACAS	LEITURA (L)	LEITURA (L25)	POSIÇÃO DE LEITURA	K(a/b)	DEFLEXÃO REAL (D0)	RAIO DE CURVATURA (R)
1	9	8	D	2,043	18,4	300,86
2	9	6	E	2,043	18,4	252,28
3	20	22	D	2,043	40,9	165,69
4	21	25	E	2,043	42,9	174,55
5	25	31	D	2,043	51,1	155,67
6	11	17	E	2,043	22,5	570,98
7	21	26	D	2,043	42,9	184,88
8	24	33	E	2,043	49,0	194,92
9	14	11	D	2,043	28,6	177,54
10	9	7	E	2,043	18,4	274,44
11	13	17	D	2,043	26,6	326,92
12	17	14	E	2,043	34,7	150,74
13	25	23	D	2,043	51,1	111,31
14	19	21	E	2,043	38,8	175,39
15	16	16	D	2,043	32,7	187,26
16	34	41	E	2,043	69,5	109,80
17	7	4	D	2,043	14,3	303,37
18	17	12	E	2,043	34,7	137,48
19	12	14	D	2,043	24,5	297,17
20	21	25	E	2,043	42,9	174,55
21	12	14	D	2,043	24,5	297,17
22	15	16	E	2,043	30,6	213,38

Fonte: Autoria própria.

Tabela 9 – Resultados dos Cálculos para Avaliação Estrutural do Trecho 2

ESTACAS	LEITURA (L)	LEITURA (L25)	POSIÇÃO DE LEITURA	K(a/b)	DEFLEXÃO REAL (D0)	RAIO DE CURVATURA (R)
1	8	5	D	2,043	16,3	275,48
2	16	17	E	2,043	32,7	199,20
3	13	13	D	2,043	26,6	230,47
4	18	15	E	2,043	36,8	143,52
5	12	9	D	2,043	24,5	201,41
6	18	12	E	2,043	36,8	126,14
7	13	16	D	2,043	26,6	295,96
8	22	20	E	2,043	44,9	125,27
9	16	22	D	2,043	32,7	292,38
10	28	31	E	2,043	57,2	119,26
11	18	15	D	2,043	36,8	143,52
12	20	16	E	2,043	40,9	125,70
13	16	12	D	2,043	32,7	151,05
14	39	57	E	2,043	79,7	137,80
15	17	13	D	2,043	34,7	143,80
16	32	37	E	2,043	65,4	110,13
17	11	10	D	2,043	22,5	250,54
18	34	49	E	2,043	69,5	152,72
19	37	55	D	2,043	75,6	151,77
20	38	61	E	2,043	77,6	187,87
21	27	39	D	2,043	55,2	193,37
22	14	12	E	2,043	28,6	188,23

Fonte: Autoria própria.

6.4 DIAGNÓSTICO DOS TRECHOS

O pavimento em estudo foi analisado em seus dois trechos separadamente e foram avaliados funcionalmente de acordo com sua respectiva norma, e através dos defeitos encontrados e análise dos cálculos, o Trecho 1 obteve um Índice de Gravidade Global de 130 classificando seu estado como ruim e o Trecho 2 com um Índice de Gravidade Global de 158 perfazendo um estado também ruim. Dessa forma, necessita-se de uma intervenção imediata para que recomponha uma serventia adequada e forneça segurança aos usuários no qual está comprometida.

O ensaio com a viga benkelman obedeceu à sua norma específica e forneceu resultados como os raios de curvatura altos, indicando um bom suporte e a deflexão em cada

estaca com valores baixos, como mostra no cálculo das deflexões médias (fórmula 8) para o Trecho 1 igual 34,50 e para o Trecho 2 igual a 43,40. Considerando um número N de solicitações baixo para a avenida em questão por ser uma cidade de pequeno porte, item este, melhor explicado no tópico seguinte, as deflexões expostas condizem com uma capacidade de suporte estrutural boa e adequada para um tráfego médio. A ausência de trilhas de roda ao longo de todo trecho estudado indica que o pavimento está em sua fase elástica, retornando à sua forma original após a aplicação dos carregamentos pelo tráfego. Por conseguinte aos resultados explanados, não há necessidade de reforço das camadas inferiores (base, sub-base e sub-leito), suportando esta, o tráfego atual, sem consequências que resultem em defeitos estruturais.

6.5 DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO DNER-PRO 11/79

Os cálculos do dimensionamento foram seguidos conforme a norma deste método, sendo primeiramente determinada a média aritmética das deflexões (D) pela Fórmula (8), o desvio padrão (σ) através da Fórmula (9) e a deflexão característica (D_c) com a Fórmula (10), sendo apresentados os resultados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados Iniciais para os Trechos 1 e 2

Parâmetros	Trecho 1	Trecho 2
D	34,50	43,40
σ	13,63	19,38
D_c	48,13	62,78

Fonte: Autoria própria.

Levando em conta o fator de correção sazonal (F_s) igual a 1,2, conforme a Tabela 3, pelo fato do material ter sido coletado em uma estação seca para um solo arenoso e permeável. Dessa forma calcula-se uma deflexão corrigida, sendo a deflexão de projeto D_p calculada pela Fórmula (11). A deflexão de projeto do Trecho 1 será $D_p = 57,76$ e do Trecho 2 $D_p = 75,34$.

Para o cálculo da deflexão admissível, que é a deflexão mínima que o pavimento terá que suportar com o tráfego atual, deve-se determinar o número N que é a quantidade de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão 8,2tf atuantes no pavimento. No entanto, o método de cálculo do número N tem como base as rodovias, porém o caso estudado é uma via coletora na cidade de Terra Rica-PR. Portanto será considerada neste trabalho como referência a Secretaria de Infra-Estrutura Urbana da Prefeitura de São Paulo no qual segue as Instruções de Projeto (IP) para projetos de asfalto da cidade. O IP-04 serve para dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego leve e médio, item 3.1 onde caracteriza o tráfego, mostrado no Quadro 4. Como a avenida se localiza em uma cidade de pequeno porte será adotado o número N mínimo para uma via coletora, sendo igual a $N = 1,4 \times 10^5$.

Função Predominante	Tráfego Previsto	Vida de Projeto (anos)	Volume inicial da faixa mais carregada		Número N
			Veículo Leve	Caminhões e Ônibus	
Via Local	Leve	10	100 a 400	4 a 20	$2,7 \times 10^4$ a $1,4 \times 10^5$
Via Local e Coletora	Médio	10	401 a 1500	21 a 100	$1,4 \times 10^5$ a $6,8 \times 10^5$

Quadro 4 – Classificação das Vias – Tráfego Leve e Médio

Fonte: Adaptado de IP-04 (2004, p. 1)

A deflexão admissível calculada pela Fórmula (12), considerando o mesmo número N para os dois trechos será $D_{adm} = 127 \times 10^{-2}$ mm, no entanto como o revestimento em estudo é composto de tratamento superficial esta norma recomenda que para a avaliação estrutural deve-se multiplicar por dois (2) o resultado desta fórmula, obtendo assim para os dois trechos $D_{adm} = 254 \times 10^{-2}$ mm.

Com todos os dados deflectométricos definidos, utiliza-se o Quadro 2 para classificar o pavimento quanto à sua qualidade estrutural e tomar as medidas corretivas necessárias. O Quadro 5 a seguir mostra o resumo dos parâmetros do pavimento e sua medida corretiva.

TREC.	R (m)	Dp (0,01mm)	Dadm (0,01mm)	QUAL. ESTRUT.	NECESSIDADE DE ESTUDO COMP.	CRIT. PARA CÁLCULO DE REFORÇO	hcb (cm)	MEDIDA CORRETIVA
1	224	58	254	Boa	Não	-	-26	Apenas correções na superfície
2	179	75	254	Boa	Não	-	-21	

Quadro 5 – Resumo dos Resultados para o Dimensionamento do Método 11/79
Fonte: Autoria própria.

6.6 DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO DNER-PRO 269/94

Com as características resilientes do solo indicadas no Quadro 3, o solo se classifica de acordo com a Tabela 4 como solo do Tipo II, onde $I_1=1$ e $I_2 = 0$. Dessa forma, com a deflexão característica mostrada na Tabela 10 calcula-se a espessura efetiva através da Fórmula (14), comparando-a com a espessura da camada existente e em seguida obtém-se a deflexão admissível pela Fórmula (15) e a espessura de reforço em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) pela Fórmula (16). Os resultados para os dois trechos são mostrados na Tabela 11 a seguir.

Tabela 11 – Resumo dos Resultados para o Dimensionamento do Método 269/94

Trecho	Dc	Dadm	Tipo de Solo	he (cm)	hef calculado (cm)	hef adotado (cm)	HR (cm)
1	48	152	II	2	12,1	2	-1,4
2	63	152	II	2	8,1	2	-1,4

Fonte: Autoria própria.

6.7 DRENAGEM EXISTENTE NOS TRECHOS EM ESTUDO

A Avenida Nelson Maior consta com esquema de drenagem eficiente devido ao fato de não haver histórico de inundação do pavimento, mesmo não existindo sistema de drenagem complementar como drenos em espinhas de peixe, informações estas, fornecidas pela prefeitura da cidade, e sua capacidade estrutural estar adequada nas camadas inferiores, comprovada pelos cálculos. O canteiro central é revestido com gramas batatais e da guia até o limite dos terrenos é calçada em concreto com pequenos canteiros para as árvores. Dessa

forma as águas pluviais decorrem da calçada para a guia que leva às bocas de lobo, assim como as águas das ruas que cortam esta avenida são direcionadas aos bueiros devido ao caimento do leito carroçável para a sarjeta. A Figura 20 mostra as bocas de lobo existentes nos dois trechos e o declive do terreno indicando o sentido das águas.

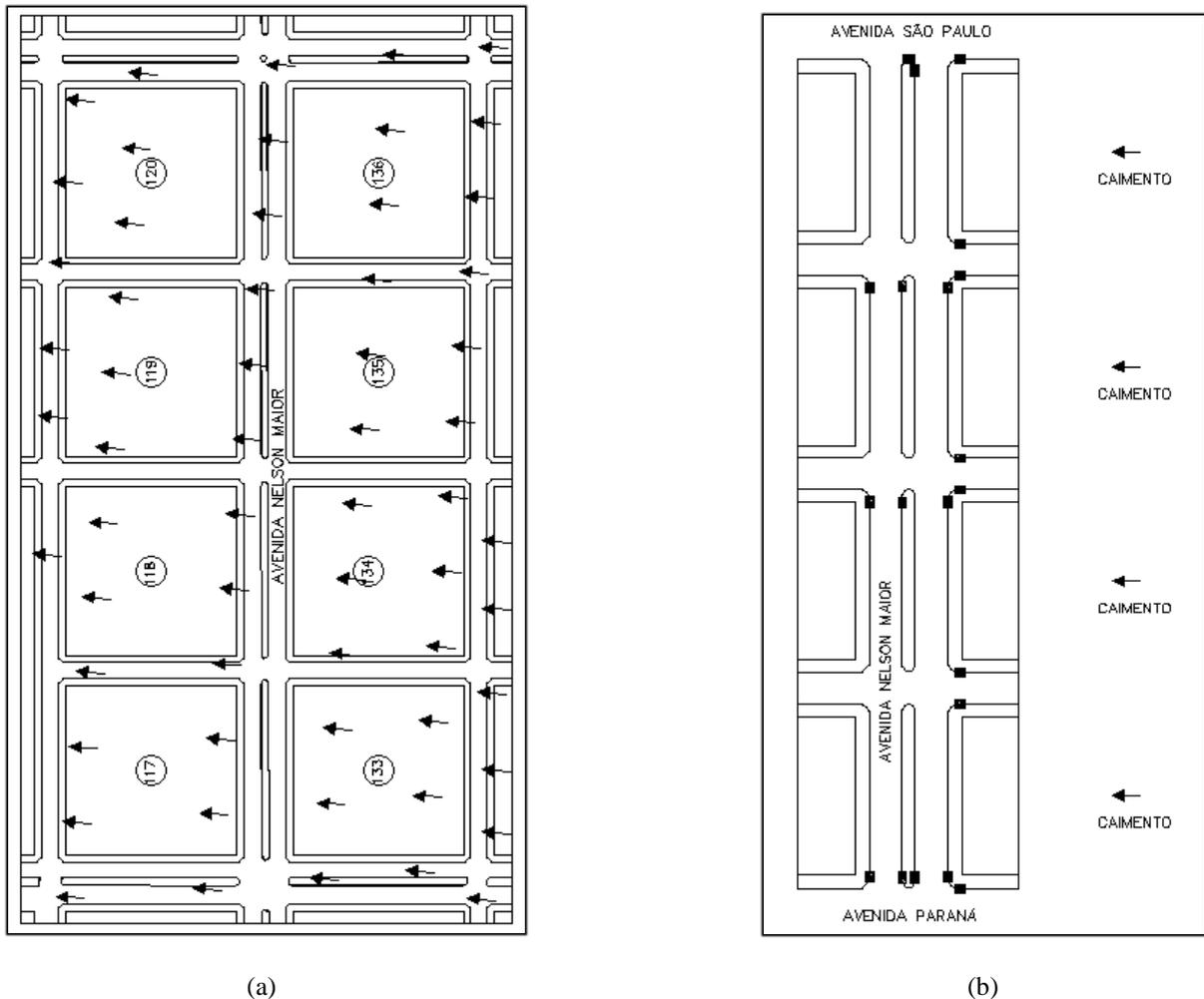


Figura 20 – a) Sentido de Escoamento da Água Conforme o Terreno - b) Esquema das Bocas de Lobo Existentes

Fonte: Autoria própria.

6.8 MEDIDA CORRETIVA PROPOSTA PARA O PAVIMENTO

O pavimento atual é revestido com tratamento superficial duplo e devido às avaliações superficiais nos dois trechos verificou-se uma maior presença de desgaste e remendo, com

trincas curtas de severidade baixa, no qual a camada de base não se compromete estruturalmente. Há também existência de panelas profundas onde se deve retirar o material comprometido e proceder com a substituição do material da base realizando uma adequada compactação até a umidade ótima de 8,2%, e por fim, aplicar um revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) com 3,0 cm de espessura diretamente sobre o pavimento existente, fornecendo uma serventia de qualidade novamente, com a correção dos desgastes sem problemas de reflexão de trincas.

7 CONCLUSÕES

Os trechos da Avenida Nelson Maior, avaliados funcionalmente apresentaram defeitos superficiais como desgaste, remendos, trincas curtas e algumas panelas, no qual foram conceituados em estado ruim, prejudicando a serventia e diminuindo a segurança dos usuários. Porém, a avaliação estrutural através da viga benkelman resultou em deflexões baixas e raios de curvatura altos, perfazendo uma boa qualidade estrutural.

O dimensionamento do reforço pelos dois métodos resultou na mesma intervenção, ou seja, não há necessidade de novas camadas para acréscimo de suporte estrutural. No entanto, pode-se notar que o método “DNER-PRO 269/94 – Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis” em relação ao método “DNER-PRO 11/79 – Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis” é mais conservador pelo fato de necessitar em seus cálculos das propriedades resilientes do solo, como sua resistência através do ISC e análise granulométrica, tornando o método mais preciso e que utiliza uma espessura efetiva que ainda resiste à esforços. Porém, o método 11/79 é mais assistencial quanto à quais medidas tomarem em função dos resultados pelos cálculos.

O objetivo de restaurar um pavimento flexível é trazer nova serventia e segurança aos usuários e com a sequência de avaliações pelos métodos “DNIT 006/2003-PRO – Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos” e “DNER-ME 024/94 – Pavimento – determinação das deflexões pela Viga Benkelman” há uma grande quantidade de dados e com eles é possível diagnosticar a situação atual das camadas a serem analisadas com confiança e propriedade. Após essas ponderações o dimensionamento de camadas de reforço através de dois métodos distintos consiste em uma segurança maior ao projetista ao que garantem resultados parecidos, como foi o caso deste estudo, pois os dois métodos garantiram que o pavimento em questão suporta estruturalmente o tráfego de projeto, com a necessidade de intervenção apenas em correções superficiais.

Com as medidas corretivas adotadas, o pavimento estará apto a receber novamente o tráfego solicitante, sendo corrigidas as falhas em sua superfície. A proposta de correção do pavimento em estudo serve apenas para orientação do projetista quanto a uma solução do que pode ser executado, no qual terá que elaborar um projeto detalhado dos materiais e formas de execução.

8 REFERÊNCIAS

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros.** 3 ed. Rio de Janeiro: Petrobras Abeda, 2010.

DNER-PRO 010/79. **Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Procedimento A.** 1979.

DNER-PRO 011/79. **Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Procedimento B.** 1979.

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

DNER-ME 024/94. **Pavimento – determinação das deflexões pela viga Benkelman.** 1994.

DNER-ME 051/94. **Solos – Análise granulométrica.** 1994.

DNER-ME 129/94. **Solos – compactação utilizando amostras não trabalhadas.** 1994.

DNER-PRO 175/94. **Aferição de viga Benkelman.** 1994.

DNER-PRO 269/94. **Projeto de restauração de pavimentos flexíveis.** 1994.

DNIT 005/2003 - TER. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia.** 2003.

DNIT 006/2003 - PRO. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento.** 2003.

DNIT 007/2003 - PRO. **Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos - Procedimento.** 2003.

DNIT 008/2003 - PRO. **Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento.** 2003.

DNIT 009/2003 - PRO. **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento.** 2003.

DNIT. **Manual de Drenagem de Rodovias.** Rio de Janeiro, 2006. 304p.

DNIT. **Manual de Restauração de pavimentos flexíveis, Publicação IPR-720.** Rio de Janeiro, 2006. 310p.

DNIT 133/2010 - ME. **Pavimentação asfáltica – Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da Viga Benkelman – Método de ensaio.** 2010.

FONSECA, Luiz Felipe da Silva da. **Análise das soluções de pavimentação do programa CREMA 2ª etapa do departamento nacional de infraestrutura de transportes.** 2013. 226p. Dissertação – Instituto Alberto Luiz Coimbra de pós-graduação e pesquisa de engenharia (COPPE) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

FRANCISCO, Ana Paula Santos. **Comportamento Estrutural de Pavimentos Rodoviários Flexíveis.** 2012. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção) – Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa da cidade de Terra Rica.** Fotografia, color. Disponível em:

<http://www.cidades.ibge.gov.br/download/mapa_e_municipios.php?lang=&uf=pr>. Acesso em: 12 jul. 2014.

NBR 6457. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 1986.

NBR 6459. Solo – Determinação do Limite de Liquidez. 1984.

NBR 6508. Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da Massa Específica. 1984.

NBR 7180. Solo - Determinação do Limite de Plasticidade. 1984.

NBR 7181. Solo – Análise Granulométrica. 1984.

NBR 7182. Solo – Ensaio de compactação. 1986.

NBR 9895. Solo – Índice de Suporte Califórnia. 1987.

SÃO PAULO (Cidade). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de Drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana.** São Paulo: SMDU, 2012. 168p.

SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA URBANA. **IP-04 – Dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego leve e médio.** São Paulo, SP. 2004. 23p.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação.** 2. ed. São Paulo, SP: Pini, 2001-2007. 2 v.

ANEXO A – Determinação dos defeitos superficiais para o Trecho 1

LOCAL: AVENIDA NELSON MAIOR							OPERADOR: WESLEY							FOLHA: 1								
TRECHO: AVENIDA PARANÁ/AVENIDA SÃO PAULO							REVESTIMENTO TIPO: TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO (TSD)															
SUBTRECHO: TRECHO 1							DATA: 01/05/2014															
Estaca	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRINCAS DE RODAS	
	ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONSOLIDAÇÃO		O5	P5	E5	EX6	D7	R8	TRI (mm)	IRE (mm)
	FL 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2		FC - 3		ALP4	ATP4	ALC4	ATC4								
							J2	TB2	JE3	TBE3												
1																			X			
2																			X	X		
3																			X	X		
4																X			X	X		
5																			X	X		
6		X														X			X	X		
7																			X	X		
8																			X	X		
9																			X			
10																X			X	X		
11																			X	X		
12																			X			
13		X														X			X	X		
14																			X	X		
15																X			X	X		
16																			X	X		
17																			X			
18																X			X	X		
19																X			X	X		
20																X			X	X		
21		X		X												X			X	X		
22		X		X												X			X	X		

ANEXO B – Determinação dos defeitos superficiais para o Trecho 2

LOCAL: AVENIDA NELSON MAIOR							OPERADOR: WESLEY							FOLHA: 2								
TRECHO: AVENIDA SÃO PAULO /AVENIDA PARANÁ							REVESTIMENTO TIPO: TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO (TSD)															
SUBTRECHO: TRECHO 2							DATA: 01/05/2014															
Estaca	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRINCAS DE RODAS	
	ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONSOLIDAÇÃO		O5	P5	E5	EX6	D7	R8	TRI (mm)	IRE (mm)
	FL 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2		FC - 3		ALP4	ATP4	ALC4	ATC4								
						J2	TB2	JE3	TBE3													
1																			X	X		
2																			X	X		
3																X			X	X		
4																			X	X		
5																			X	X		
6																X			X	X		
7		X														X			X	X		
8		X														X			X	X		
9		X		X				X								X			X	X		
10		X														X			X	X		
11		X		X												X			X	X		
12		X																	X	X		
13																			X	X		
14		X																	X	X		
15		X		X				X								X			X	X		
16		X		X															X	X		
17				X	X														X	X		
18																			X	X		
19																			X	X		
20																X			X	X		
21																X			X	X		
22																X			X	X		

ANEXO C – Resumo dos defeitos – Codificação e Classificação

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3

ANEXO C (continuação)

OUTROS DEFEITOS				CODIFICAÇÃO
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP
		Da trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC
		Da trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base				O
Escorregamento (do revestimento betuminoso)				E
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento				EX
Desgaste acentuado na superfície do revestimento				D
"Painelas" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P
Remendos		Remendo Superficial		RS
		Remendo Profundo		RP
<p>NOTA 1: Classe das trincas isoladas</p> <p>FC-1: são trincas com abertura superior à das fissuras e menores que 1,0mm; FC-2: são trincas com abertura superior à 1,0mm e sem erosão nas bordas; FC-3: são trincas com abertura superior à 1,0mm e com erosão nas bordas;</p> <p>NOTA 2: Classe das trincas interligadas</p> <p>As trincas interligadas são classificadas como FC-3 e FC-2 caso apresentem ou não erosão nas bordas</p>				