

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GEORGE BONJORNO CILLA

AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ESTRUTURAL DAS MARGINAIS PR-840

CAMPO MOURÃO

2023

GEORGE BONJORNO CILLA

AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ESTRUTURAL DAS MARGINAIS PR-840

FUNCTIONAL AND STRUCTURAL EVALUATION OF PR-840 MARGINALS

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Prof. Dra. Eliana Fernandes Santos.

CAMPO MOURÃO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GEORGE BONJORNO CILLA

AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ESTRUTURAL DAS MARGINAIS PR-840

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 23/novembro/2023

Eliana Fernandes dos Santos
Doutorado em Infraestrutura de Transportes
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fabiana Goia Rosa de Oliveira
Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

José Wilson dos Santos Ferreira
Doutorado em Geotecnia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO

2023

Dedico este trabalho à minha família, namorada e amigos, pelos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente a todas as pessoas e instituições que tornaram possível a conclusão deste trabalho de conclusão de curso.

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão a minha orientadora Prof. Dra. Eliana Fernandes Santos, pela orientação constante, apoio e incentivo ao longo deste processo. Seu conhecimento e orientação foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Também gostaria de agradecer à minha família, que sempre acreditou em mim e me apoiou incondicionalmente durante esta jornada acadêmica. Suas palavras de encorajamento e apoio emocional foram essenciais para minha motivação.

Minha sincera gratidão vai para minha namorada. Ela foi uma fonte constante de incentivo, força e compreensão ao longo de todo esse processo. Mesmo nos momentos em que estive ausente devido às demandas do trabalho de conclusão de curso, ela esteve ao meu lado, apoiando-me de maneira inestimável. Seu amor e compreensão foram fundamentais para que eu não desistisse.

Agradeço aos meus amigos e colegas de classe que compartilharam suas ideias, conhecimentos e experiências, tornando este processo de aprendizado mais enriquecedor.

Além disso, sou grato a Itaipu Indústria e Comércio de Britas e Asfalto LTDA por fornecer os recursos e o ambiente de aprendizado necessários para a conclusão deste trabalho.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer a todas as fontes de pesquisa e bibliotecas que disponibilizaram materiais e informações relevantes para o desenvolvimento deste estudo.

Este trabalho não teria sido possível sem o apoio e contribuições de todas essas pessoas e instituições. Muito obrigado por fazerem parte desta jornada acadêmica.

RESUMO

A pavimentação asfáltica é parte integrante da infraestrutura de um município, estado e país, 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 aos usuários. 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 realizar avaliação funcional e estrutural do pavimento flexível nas marginais da rodovia PR-840, separados em 2 segmentos homogêneos de sentido duplo, localizadas na cidade de Campo Mourão. A avaliação funcional, envolveu um inventário detalhado da condição da via, incluindo a coleta de dados para calcular o Índice de Gerenciamento de Pavimentos. A avaliação funcional forneceu informações cruciais sobre o estado atual do pavimento, identificando áreas que necessitam de intervenção resultando em uma classificação ruim para ambos os trechos. Além disso, foi realizado uma avaliação estrutural do pavimento por meio de ensaios de Viga Benkelman, fundamental para determinar a capacidade de carga do pavimento e sua capacidade de suportar o tráfego atual e futuro, revelou deflexões altas e raios de curvatura com valores baixos para o trecho 1, enquanto o trecho 2 apresentou deflexões baixas e raio de curvatura alto. Concluiu-se que a qualidade estrutural do pavimento se apresentou como regular, sendo propostas soluções de reforço como medida corretiva para ambos os trechos.

Palavras-chave: pavimentação; defeitos; avaliação funcional; avaliação estrutural; reforço.

ABSTRACT

Asphalt pavement is an integral part of a municipality, state, and country's infrastructure as it provides safety and comfort to users and facilitates mobility. Like any construction, pavement also requires periodic maintenance to continue serving users effectively. When the road is compromised, it is necessary to conduct evaluations followed by reinforcement projects, applying surface corrections and increasing structural capacity to withstand new traffic demands. The objective of this work is to perform a functional and structural evaluation of the flexible pavement on the margins of the PR-840 highway, divided into 2 homogeneous two-way segments, located in the city of Campo Mourão. The functional evaluation involved a detailed inventory of the road's condition, including data collection to calculate the Pavement Management Index. The functional evaluation provided crucial information about the current state of the pavement, identifying areas that require intervention, resulting in a poor rating for both segments. Additionally, a structural evaluation of the pavement was conducted through Benkelman Beam tests, essential to determine the pavement's load-bearing capacity and its ability to support current and future traffic. The results revealed high deflections and low curvature radii for segment 1, while segment 2 showed low deflections and a high curvature radius. It was concluded that the structural quality of the pavement was deemed regular, and reinforcement solutions were proposed as corrective measures for both segments.

Keywords: Paving; defects; functional evaluation; structural evaluation; reinforcement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Trinca isolada - Transversal	16
Figura 2 – Trinca isolada – Longitudinal	17
Figura 3 – Trinca interligado – tipo jacaré.....	17
Figura 4 – Trinca interliga – tipo bloco.....	18
Figura 5 – Afundamento da trilha de roda.....	19
Figura 6 – Afundamento local	19
Figura 7 – Ondulação/Corrugação	20
Figura 8 – Escorregamento	20
Figura 9 – Exsudação.....	21
Figura 10 – Desgaste.....	22
Figura 11 – Panela.....	22
Figura 12 – Treliça para medição das flechas da trilha de roda.....	24
Figura 13 – Mapa da cidade de Campo Mourão – PR.....	31
Figura 14 – Localização dos trechos	32
Figura 15 – Divisão dos trechos	32
Figura 16 – Esquema da viga Benkelman	35
Figura 17 – Diagrama Unifilar do Trecho 1.....	41
Figura 18 – Diagrama Unifilar do Trecho 2.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valor do Fator de Ponderação (Fp)	24
Quadro 2 – Critérios para Avaliação Estrutural	30
Quadro 3 – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG	34
Quadro 4 – Fator de Correção Sazonal - Fs	37
Quadro 5 – Avaliação Superficial do Trecho 1	42
Quadro 6 – Avaliação Superficial do Trecho 2	42
Quadro 7 – Resultados de Viga Benkelman do Trecho 1	45
Quadro 8 – Resultados de Viga Benkelman do Trecho 2	46
Quadro 9 – Parâmetros iniciais do Trecho 1 e 2.....	48
Quadro 10 – Resultados Dimensionamento DNIT PRO 11/79	49

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Trilha de roda negativa marginal direita	39
Fotografia 2 – Defeitos superficiais marginal direita	40
Fotografia 3 – Remendos e trincas marginal esquerda	40
Fotografia 4 – Defeitos superficiais marginal esquerda	41
Fotografia 5 – Leitura Inicial de Viga Benkelman no Trecho 1	43
Fotografia 6 – Leitura Final de Viga Benkelman no Trecho 1.....	44
Fotografia 7 – Leitura Inicial de Viga Benkelman no Trecho 2.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultados do Raio de Curvatura Trecho 1.....	46
Gráfico 2 – Resultados do Raio de Curvatura Trecho 2.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
COAMO	Cooperativa Agropecuária Mourãoense
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNER-ME	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - Método de Ensaio
DNER-PRO	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - Procedimento
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FC-1	Fenda Classe 1
FC-2	Fenda Classe 2
FC-3	Fenda Classe 3
FWD	Falling Weight Deflectometer
IGG.	Índice de Gravidade Global
IGI	Índice de Gravidade Individual
IP	Instrução de Projeto
PMF	Pré-Misturado a Frio
TRE	Trilha de Roda Externa
TRI	Trilha de Roda Interna

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	Pavimento flexível	15
3.2	Defeitos do pavimento flexível	15
3.2.1	Fendas	15
3.2.2	Afundamento	18
3.2.3	Corrugação	19
3.2.4	Escorregamento	20
3.2.5	Exsudação	21
3.2.6	Desgaste	21
3.2.7	Panela	22
3.3	Avaliação Funcional	23
3.3.1	Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos	23
3.4	Avaliação Estrutural	25
3.4.1	Viga Benkelman	26
3.5	Atividades de Manutenção e Reabilitação	26
3.5.1	Remendo	27
3.5.2	Capas selantes	27
3.5.3	Selagem de trincas	27
3.5.4	Fresagem	28
3.5.5	Reciclagem	28
3.5.6	Recapeamento	28
3.5.7	Reconstrução	29
3.6	DNER-PRO 11/79	29
4	METODOLOGIA	31
4.1	Seleção do local do estudo de caso	31
4.2	Avaliação Funcional	33
4.3	Avaliação Estrutural	34
4.4	Diagnóstico e solução dos trechos	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39

5.1	Avaliação Funcional.....	39
5.2	Avaliação Estrutural.....	43
5.3	Dimensionamento DNER-PRO 11/79	48
6	CONCLUSÃO	50
7	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

O adequado funcionamento das vias de transporte desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de uma região, garantindo a mobilidade eficiente de pessoas e mercadorias. Nesse contexto, a qualidade e a durabilidade dos pavimentos rodoviários são fatores críticos para assegurar a segurança e a eficiência do sistema de transporte. O estado das rodovias, em particular, é um aspecto de grande importância, uma vez que a manutenção e reabilitação de pavimentos existentes muitas vezes representam uma alternativa economicamente mais viável do que a construção de novas rodovias.

A avaliação funcional, baseada na norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT 006 (2003), envolve a realização de um inventário detalhado da condição da via, incluindo a coleta de dados relevantes para o cálculo do Índice de Gerenciamento de Pavimentos (IGG). Essa avaliação funcional fornece informações cruciais sobre o estado atual do pavimento e permite identificar áreas que necessitam de intervenção.

Quanto a avaliação estrutural, podem ser realizados ensaios de Viga Benkelman normalizados pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER 24 (1994). A análise estrutural é essencial para determinar a capacidade de carga do pavimento e sua capacidade de suportar o tráfego atual e futuro. Com base nos resultados obtidos, serão propostas soluções de reabilitação de acordo com a norma DNER-PRO 11/79.

O presente trabalho concentra-se na avaliação funcional e estrutural do pavimento flexível nas marginais da rodovia PR-840, localizadas na cidade de Campo Mourão visando contribuir para a gestão eficiente dos recursos de infraestrutura viária, fornecendo informações e recomendações práticas para a manutenção e reabilitação do pavimento das Marginais PR-840. A partir da análise funcional e estrutural, espera-se que este estudo proporcione uma base para a tomada de decisões informadas e a implementação de medidas adequadas que garantam a segurança e a durabilidade dessa importante via de transporte.

2 OBJETIVOS

Neste capítulo serão apresentados quais são os objetivos geral e específicos para o tema abordado no trabalho.

2.1 Objetivo Geral

Realizar a avaliação funcional e estrutural do pavimento flexível existente nas marginais da PR-840 no município de Campo Mourão.

2.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- Avaliar funcionalmente o pavimento, identificando as patologias existentes nas marginais da PR-840.
- Analisar a estrutura do pavimento existente através de ensaios de Viga Benkelman.
- Propor solução para restauração do pavimento do trecho estudado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será abordado a definição de pavimento flexível e os defeitos em particular que podem ocorrer. Além de apresentar como é realizado a avaliação funcional e estrutural do pavimento para propor uma solução de reabilitação adequada para as vias.

3.1 Pavimento flexível

Segundo o Departamento de Estradas de Rodagem – DER (2006), o pavimento flexível é constituído por revestimento asfáltico sobre camada de base granular ou sobre camada de base de solo estabilizado granulometricamente. Os esforços provenientes do tráfego são absorvidos pelas diversas camadas constituintes da estrutura do pavimento flexível.

Os pavimentos flexíveis são normalmente compostos de quatro camadas: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço de subleito (BERNUCCI *et al.*, 2008). Segundo Balbo (2007), nesse tipo de estrutura, as cargas aplicadas se dispersam em áreas concentradas, resultando em pressões no subleito próxima ao ponto de aplicação, causando deformações elásticas notáveis em todas as camadas.

3.2 Defeitos do pavimento flexível

Os pavimentos flexíveis frequentemente apresentam defeitos relacionados às suas características estruturais e superficiais. Isso inclui o surgimento de fissuras e, adicionalmente, podem ocorrer desagregações superficiais. Essas desagregações se manifestam quando fissuras e sulcos surgem, permitindo a retenção de água e sua penetração nas camadas subjacentes. Isso resulta na deterioração das características superficiais e, conseqüentemente, na redução da segurança, do conforto e da eficiência econômica da via (PINTO, 2003).

3.2.1 Fendas

Fendas são descontinuidades situadas na superfície do pavimento que podem resultar em aberturas de diversos tamanhos, independentemente de sua forma. Conforme definido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT, 2003a), as fendas podem assumir várias formas e tamanhos, tornando-se um desafio

para a gestão de pavimentos. Elas podem ser causadas por uma série de fatores, incluindo cargas de tráfego, variações de temperatura e materiais inadequados.

As fissuras são fendas de largura capilar no revestimento do pavimento e podem ser posicionadas longitudinalmente, transversalmente ou diagonalmente em relação ao eixo da via. Diferentemente das fendas, as fissuras geralmente não apresentam problemas funcionais e são frequentemente resultado de tensões térmicas e de contração no pavimento (DNIT, 2003a). Se classificam de acordo com o tamanho da fissura, sendo FC-1 as trincas com abertura superior à das fissuras e menor que 1,0 mm; FC-2 as trincas com abertura superior a 1,0 mm e sem erosão nas bordas; FC-3 as trincas com abertura superior a 1,0 mm e com erosão nas bordas.

As trincas são imperfeições visivelmente distintas das demais, distinguindo-se por sua aparência. Elas podem ser subdivididas em trincas isoladas, como as trincas transversais, longitudinais e de retração, e trincas interligadas, que incluem tipos como couro de jacaré e tipo bloco (DNIT, 2003a). As trincas frequentemente resultam de cargas de tráfego repetidas e podem comprometer a integridade estrutural do pavimento se não forem adequadamente tratadas.

A trinca transversal consiste em “uma trinca isolada com uma orientação que principalmente segue um ângulo reto em relação ao eixo da estrada” (DNIT, 2003a p. 4), conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Trinca isolada - Transversal



Fonte: DNIT (2003a, p.6)

“Uma trinca isolada que segue principalmente a direção paralela ao eixo da estrada é considerada uma trinca longitudinal” (DNIT, 2003a p. 2), conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Trinca isolada – Longitudinal



Fonte: DNIT (2003a, p. 6)

As trincas couro de jacaré são um conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. Essas trincas podem apresentar, ou não, erosão acentuada nas bordas (DNIT, 2003a), conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Trinca interligado – tipo jacaré



Fonte: DNIT (2003a, p. 7)

As trincas tipo bloco são um conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas (DNIT, 2003a). A formação das fissuras tipo bloco indica que o asfalto passou por um endurecimento significativo devido à oxidação ou à volatilização dos maltenos, o que resulta em uma menor flexibilidade do material. Essas fissuras se desenvolvem devido à contração do revestimento asfáltico e às flutuações de temperatura ao longo do dia (SILVA,2008), conforme indicado na Figura 4.

Figura 4 – Trinca interliga – tipo bloco



Fonte: DNIT (2003a, p. 7)

3.2.2 Afundamento

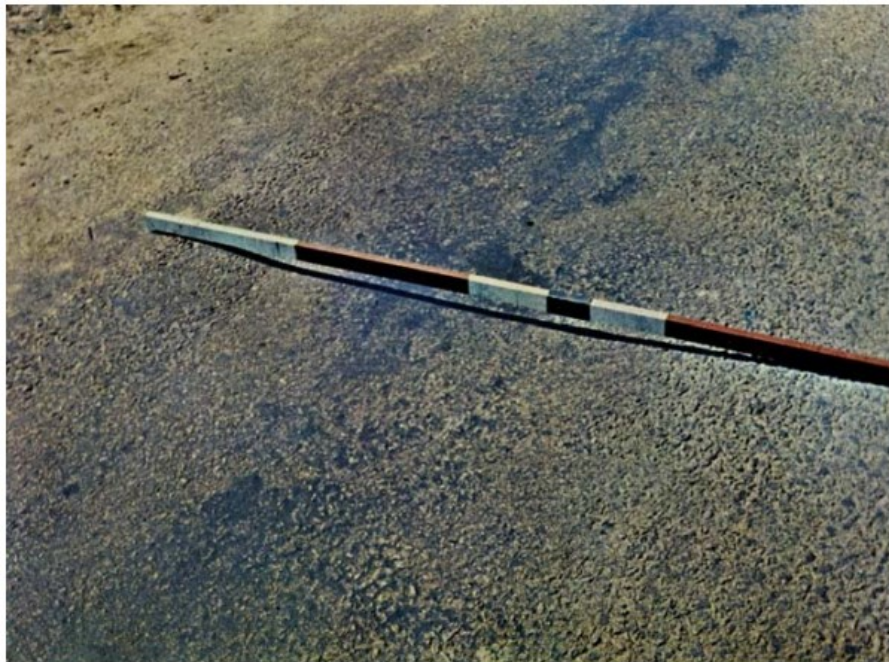
O afundamento é uma deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação. Afundamento causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de solevamento, quando sua extensão é de até 6m denomina-se afundamento plástico local, caso for maior que 6 m é denominado afundamento plástico de trilha de rodas (DNIT, 2003a), como mostra as Figuras 5 e 6.

Figura 5 – Afundamento da trilha de roda



Fonte: DNIT (2003a, p. 8)

Figura 6 – Afundamento local



Fonte: DNIT (2003a, p. 8)

3.2.3 Corrugação

As Corrugações são deformações caracterizadas por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento com depressões intercaladas de elevações, causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base (DNIT, 2003a), conforme indicado na Figura 7.

Figura 7 – Ondulação/Corrugação

Fonte: DNIT (2003a, p. 9)

3.2.4 Escorregamento

O escoramento é definido como deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua. A formação dessas fissuras em forma de meia lua ocorre devido à fraca resistência da massa asfáltica ou à falta de aderência entre as camadas do revestimento e a camada subjacente. Essas fissuras são geradas principalmente devido à ação dos veículos durante o processo de frenagem (SILVA, 2008), conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Escorregamento

Fonte: DNIT (2003a, p. 9)

3.2.5 Exsudação

Exsudação ocorre devido ao excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento, resultando em uma aparência brilhante (DNIT, 2003a). Devido ao calor, ocorre a dilatação do asfalto, no qual encontra dificuldade para preencher o volume de vazios ou ao excesso de ligante betuminoso. Isso resulta em uma diminuição da viscosidade do asfalto, o que leva à aderência excessiva dos agregados grossos e à redução da macrotextura da superfície (BERNUCCI *et al.*, 2008), conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 – Exsudação



Fonte: DNIT (2003a, p. 10)

3.2.6 Desgaste

Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego (DNIT, 2003a). Quando a superfície está em um estágio avançado de desgaste, os agregados são gradualmente removidos devido à ação abrasiva do tráfego, resultando em uma textura superficial áspera (BERNUCCI *et al.*, 2008), de acordo com a Figura 10.

Figura 10 – Desgaste

Fonte: DNIT (2003a, p 11)

3.2.7 Panela

As panelas surgem devido a cavidade que se forma no revestimento por diversas causas, podendo alcançar camadas inferiores do pavimento, causando sua degradação (DNIT, 2003a). Essa patologia surge com a evolução de outras, como fendas, desgastes, afundamentos e falta de aderência entre camadas, formando um buraco ou cavidade no revestimento (PINTO,2003). A água da chuva é um fator agravante para esse tipo de patologia, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Panela

Fonte: DNIT (2003a, p. 11)

3.3 Avaliação Funcional

Segundo o Departamento de Estradas de Rodagem – DER IP03 (2006) avaliação funcional é a determinação da capacidade de desempenho funcional momentânea, serventia, que o pavimento proporciona ao usuário, ou seja, o conforto em termos de qualidade de rolamento. O desempenho funcional refere-se à capacidade do pavimento de satisfazer sua função principal, que é a de fornecer superfície com serventia adequada em termos de qualidade de rolamento.

De acordo com Pinto (2003), a avaliação visual envolve uma análise minuciosa que consiste em observar com atenção todas as irregularidades identificadas na superfície do pavimento em questão. Essa inspeção é conduzida por um indivíduo designado para essa tarefa, que percorre a via a uma velocidade reduzida e documenta as informações relevantes em formulários. Além dos registros em formulários, esses problemas podem também ser capturados por meio de dispositivos fotográficos e posteriormente arquivados em um banco de dados para fins de análise.

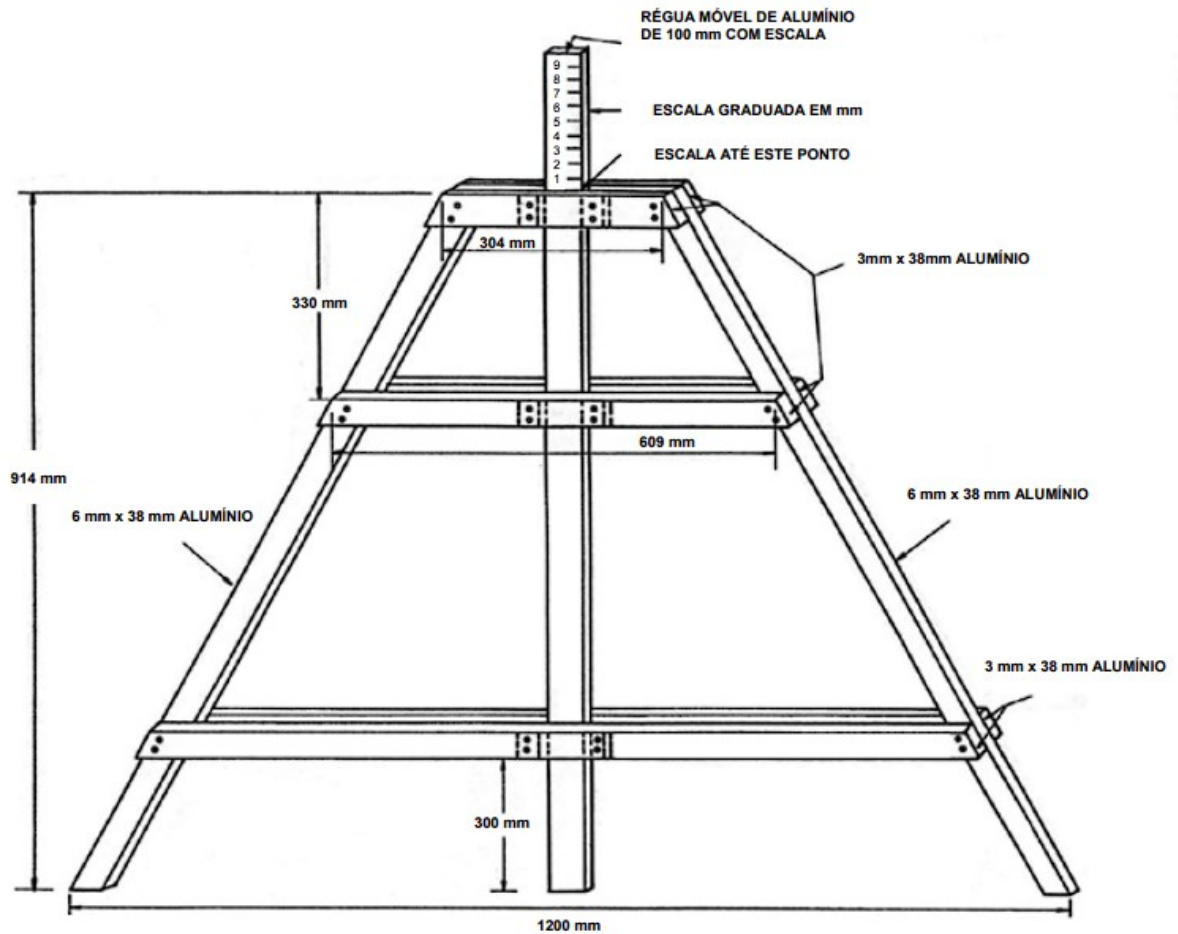
Os defeitos de classe funcional estão diretamente ligados à camada de superfície do pavimento, onde se avalia seu nível de desgaste, sua qualidade e segurança. Os defeitos surgem principalmente por solicitações de tráfego comprometendo a capacidade estrutural e ações climáticas desgastando a superfície. É por meio dessa análise que conseguimos obter informações sobre o estado geral do pavimento e compreender em que medida isso afeta o desempenho dos veículos (BERNUCCI *et al*, 2008).

3.3.1 Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos

O método consiste no levantamento e classificação de ocorrências aparentes na superfície do pavimento e na medida das deformações permanentes nas trilhas de roda. Visa obter um inventário para reconhecimento dos defeitos, classificá-los a fim de obter índices de ponderação, para assim determinar o Índice de Gravidade Global (IGG) (DNIT, 2003b).

Para avaliação da superfície deve-se usar uma trelça de alumínio, padronizada, tendo 1,20m de base, com uma régua móvel fixa no ponto médio do aparelho, com marcação em milímetros para medir as trilhas de roda existentes, conforme ilustrado na Figura 12 (DNIT, 2003b).

Figura 12 – Treliça para medição das flechas da trilha de roda



Fonte: DNIT 006/2003 PRO (2003, p. 6)

A norma DNIT 006 (2003b) classifica os defeitos do pavimento em oito tipos, conforme a DNIT 005 (2003a), e para cada defeito apresentado na superfície do pavimento é determinado um fator de ponderação, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Valor do Fator de Ponderação (Fp)

Tipo	Defeito	Fator de Ponderação (Fp)
1	Fissuras e Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR)	0,2
2	Trincas interligadas FC-2 (J e TB)	0,5
3	Trincas interligadas com erosão FC-3 (JE e TBE)	0,8
4	Afundamentos (ALP, ATP e ALC, ATC)	0,9
5	Ondulação, Panela e Escorregamento (O, P, E)	1,0
6	Exsudação (EX)	0,5
7	Desgaste (D)	0,3
8	Remendo (R)	0,6

Fonte: Adaptado DNIT (2003b p.5)

O Fator de ponderação apresentado no Quadro 1 classifica o grau de severidade de cada defeito, dentre as trincas que podem surgir a classe FC-3 é a mais

severa. Dentre os defeitos, aqueles que apresentam sérios riscos de segurança e conforto ao usuário são as ondulações, panelas e escorregamentos, com fator ponderação igual a 1,0.

3.4 Avaliação Estrutural

A avaliação estrutural está associada ao conceito de capacidade de carga, que está vinculado diretamente ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento. Os defeitos estruturais resultam especialmente da repetição das cargas e vinculam-se às deformações elástica, sendo os principais responsáveis pelo surgimento da maioria dos trincamentos ao longo da vida do pavimento, e que podem levar à fadiga do revestimento (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Segundo o Departamento de Estrada de Rodagem – DER IP03 (2006) trata-se da avaliação da capacidade de desempenho estrutural, que, por conseguinte, representa a capacidade do pavimento de preservar sua integridade estrutural. A avaliação estrutural de pavimentos engloba a análise das medidas de deslocamento vertical recuperável da superfície do pavimento quando submetido a uma carga específica. A avaliação estrutural do pavimento é separada em dois tipos: investigações destrutivas e não destrutivas.

O método destrutivo é aquele que investiga a condição estrutural de cada camada que compõe o pavimento através de abertura de trincheiras ou poços de sondagem, permitindo recolher amostras de cada material até o subleito e realizar ensaios de laboratório oferecendo uma grande quantidade de informações e propriedades das camadas existentes (BERNUCCI *et al.*, 2008). Porém, para realizar esse método, o tráfego deve ser interditado para retirada de amostras, aumentando também os defeitos na camada de rolamento e demanda de alguns dias para apresentar os resultados de ensaio.

O método não-destrutivo é aquele representado por medidas de deflexão, a deformação elástica que resulta na flexão alternada do revestimento e a deformação permanente que resulta no afundamento de trilha de roda, essas duas deformações são critérios para avaliação estrutural de um pavimento em uso e para definir a vida útil estrutural e funcional do pavimento. Sendo essa a avaliação mais adequada para ser feita em grandes extensões de pistas e com possibilidade de inúmeras repetições no mesmo ponto, acompanhando assim a variação da capacidade de carga com o

tempo, pois não danifica o pavimento durante a sua execução (BERNUCCI *et al*, 2008).

Os métodos não destrutivos de avaliação estrutural consistem em tomadas de medidas de deflexões, em múltiplos pontos, impostas por carregamentos conhecidos, sendo os dois equipamentos mais utilizados no Brasil a viga Benkelman, que impõe um carregamento quase estático, e o Falling Weight Deflectometer (FWD), que aplica um carregamento por impacto (BALBO, 2007). Esses levantamentos são medidos em centésimos de milímetros e com eles é possível determinar o raio de curvatura a a bacia de deflexão.

3.4.1 Viga Benkelman

A viga Benkelman é o método não-destrutivo mais utilizado no país. O aparelho opera com base no princípio de alavanca, no qual uma haste está apoiada em um corpo de suporte e é articulada, seguindo a relação A/B, onde A representa a parte da haste antes da articulação e B representa a parte após a articulação. Uma carga é aplicada em uma das extremidades da haste, enquanto na outra extremidade é medida a deflexão usando um extensômetro (BALBO, 2007).

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 (1994), 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, 1994)

3.5 Atividades de Manutenção e Reabilitação

Atividades de manutenção se resumem, geralmente, em remendos, selagem de trincas e capas selantes. Identificar e corrigir defeitos nas fases iniciais é fundamental para a equipe de manutenção, pois isso resulta na otimização dos recursos disponíveis. Um exemplo disso são as fissuras, que, se não forem seladas prontamente, podem se transformar rapidamente em problemas graves e, conseqüentemente, aumentar os custos de operação dos veículos e os custos de manutenção e reabilitação (FERNANDES JÚNIOR; ODA; ZERBINI, 2006).

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2006) as atividades de reabilitação são um conjunto de medidas necessárias para prolongar de vida útil do pavimento, avaliando as características de tráfego para tomar a melhor decisão. Dentre as atividades de reabilitação mais utilizadas estão a fresagem, a reciclagem, o recapeamento estrutural e a reconstrução.

3.5.1 Remendo

Consiste em corrigir defeitos que surgem na superfície do pavimento, é o método de reparo mais utilizado na manutenção de rodovias. Os buracos e panelas são os mais comuns e necessitam de reparos imediatos, pois comprometem a segurança e o conforto, também permitem a infiltração de água que enfraquece a estrutura e acelera a deterioração do pavimento (DNIT, 2006)

Os dois elementos principais para executar um remendo são a seleção dos materiais e os procedimentos de reparos. Quanto ao tipo de material, podem ser usadas misturas usinadas a quente (CBUQ), no caso de reparos permanentes, ou pré-misturados a frio (PMF), no caso de reparos emergenciais, executados sob condições climáticas desfavoráveis (FERNANDES JÚNIOR; ODA; ZERBINI, 2006).

3.5.2 Capas selantes

A capa selante é um serviço que consiste na aplicação de ligante asfáltico e uma aplicação de agregado miúdo (areia ou pó de pedra). Sua execução tem por finalidade principal o incremento das condições de impermeabilização da camada a ser tratada (DNIT, 2006).

Outras finalidades são rejuvenescer o revestimento asfáltico, reestabelecer o coeficiente de atrito pneu-pavimento, selar trincar com pequena abertura e retardar o desgaste causado pelo intemperismo. Os tipos mais comuns são selo asfáltico impermeabilizante, tratamentos superficiais e lama asfáltica (FERNANDES JÚNIOR; ODA; ZERBINI, 2006).

3.5.3 Selagem de trincas

A selagem de trincas consiste no enchimento de trincas e fissuras do revestimento com materiais como cimentos asfálticos, asfaltos diluídos, emulsões ou selantes especiais, para impedir a penetração de água nas camadas inferiores. Essa

é uma atividade de conservação rotineira que é executada pela maioria dos órgãos rodoviários. Quando surgem trincas no pavimento, a selagem pode prologar a vida útil dos pavimentos flexíveis, evitando que o defeito se agrave e necessite de uma restauração de maior magnitude (DNIT, 2006).

3.5.4 Fresagem

É uma operação realizada por máquinas fresadoras que remove a camada degradada do revestimento afim de fazer a restauração da qualidade em relação ao rolamento da superfície. As máquinas de fresagem foram desenvolvidas para retirada do revestimento asfáltico em espessuras controladas e para reestabelecer a declividade transversal. Neste processo, grande parte do pavimento é reduzido até um determinado tamanho máximo em uma única operação. O tamanho das partículas removidas depende da espessura de corte, da direção de rotação do cilindro fresador, da velocidade de rotação do cilindro, da quantidade e espaçamento entre dentes de fresagem e da velocidade de operação do equipamento (DNIT, 2006).

3.5.5 Reciclagem

Essa técnica tem o objetivo de renovar e rejuvenescer misturas asfálticas envelhecidas. Também serve para corrigir corrugações, agregados polidos e exsudação, porém não é efetivo para corrigir trincas ou panelas (FERNANDES JÚNIOR; ODA; ZERBINI, 2006).

3.5.6 Recapeamento

Consiste na adequada sobreposição ao pavimento existente de uma ou mais camada constituída de mistura betuminosa. Tal sobreposição aproveita o valor residual da estrutura do pavimento e conferirá ao pavimento existente adequado aporte estrutural, mantendo-o assim apto a exercer um novo ciclo de vida. Os recapeamentos asfálticos geralmente são projetados um período que pode variar de 3 a 10 anos e a sua espessura varia de 2,5cm e 5cm (DNIT, 2006). O aumento da espessura de recapeamento não previne a ocorrência de trincas por reflexão, mas reduz a velocidade de propagação e a severidade das trincas refletidas por reduzir os esforços de flexão e cisalhamento sob carga e por reduzir a variação de temperatura na camada de revestimento (BERNUCCI *et al.*, 2008).

3.5.7 Reconstrução

A reconstrução é necessária quando o pavimento não é reabilitado a tempo e começa a deteriorar-se rapidamente, para isso é removido a estrutura e substituído por novos materiais, basicamente uma reparação total do pavimento, desde o subleito. A causa mais comum que leva a reconstrução completa do pavimento é por conta da drenagem inadequada, com a reconstrução representando a única opção para a melhoria do sistema de drenagem (DNIT, 2006).

3.6 DNER-PRO 11/79

O método DNER-PRO 11 (1979) baseia-se na análise defletométrica e, através de procedimentos recomendados, propõe como medida de reabilitação estrutural uma camada de espessura de reforço. A Análise Defletométrica estabelece uma conexão entre a durabilidade do pavimento e as deflexões máximas, com o propósito de reduzir as deflexões recuperáveis a um nível aceitável, utilizando a espessura do reforço (PINTO; PREUSSLER, 2002).

Assim, a espessura do reforço está intrinsecamente ligada à deformação estrutural, que é refletida nas deflexões causadas pelo tráfego, bem como à capacidade da nova camada de pavimentação em resistir à degradação estrutural que poderia comprometer a qualidade da superfície de rolamento (serventia) quando aplicada sobre uma estrutura que possui uma maior ou menor capacidade de deformação (BALBO, 2007).

A norma DNER-PRO 11(1979) tem por objetivo estabelecer os procedimentos necessários para a avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis existentes, apontar as 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 durante o período de projeto considerado (número N).

Portanto, para aplicar a norma DNER-PRO 11(1979) deve-se definir os segmentos homogêneos, determinar o número N, realizar o inventário do estado da superfície do revestimento segundo a DNIT 006 (2003b) e realizar os ensaios de viga Benkelman para obter a bacia de deflexão, assim classificando a qualidade estrutural do pavimento verificando a medidas corretivas necessárias de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2 – Critérios para Avaliação Estrutural

Hipóteses	Dados Deflectométricos obtidos	Qualidade Estrutural	Necessidade de Estudos Complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas Corretivas
I	$D_p \leq D_{adm}$ $R \geq 100$	BOA	NÃO	Deflectométrico	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 O pavimento apresenta deformações permanentes e rupturas plásticas generalizadas (IGG > 180)	SIM	Resistência	Reconstrução

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

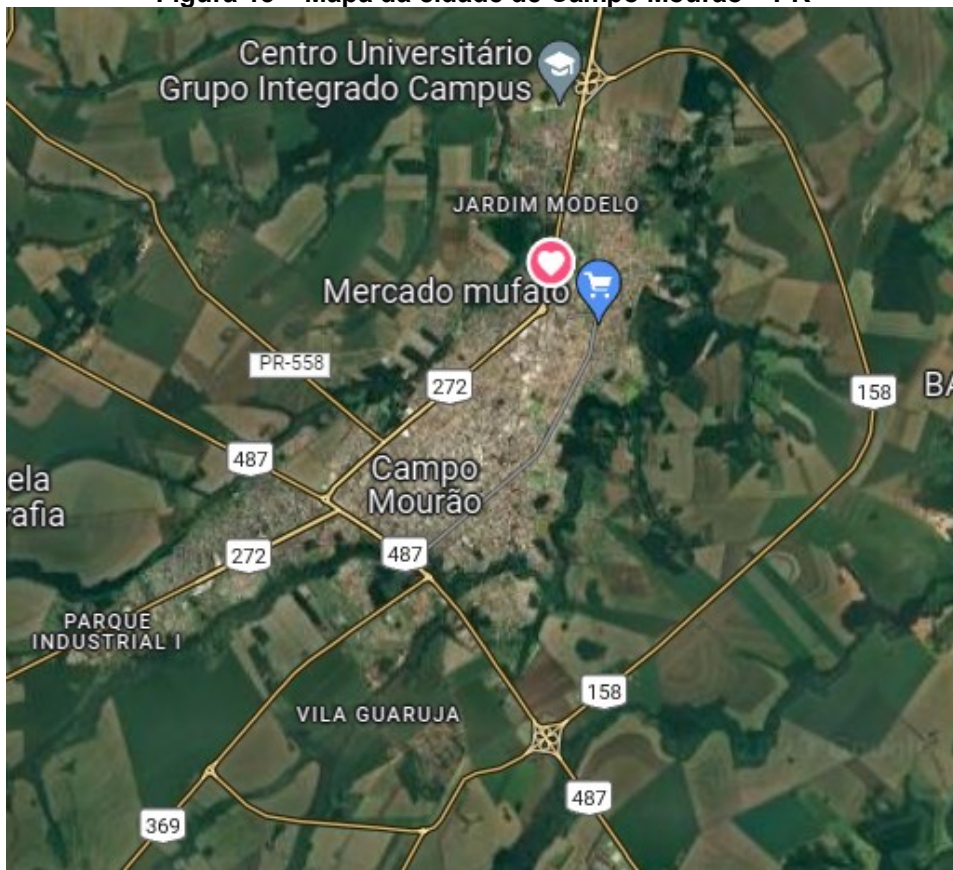
4 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os procedimentos que foram utilizados para a realizar o levantamento em campo e os métodos empregados para avaliação funcional e estrutural do pavimento.

4.1 Seleção do local do estudo de caso

Este estudo foi realizado na cidade de Campo Mourão, localizada no Centro-Oeste do estado do Paraná. Seu território abrange uma área de 749.637 km² com uma população estimada de 99.432 habitantes (IBGE, 2022). A Figura 14 mostra o município de Campo Mourão.

Figura 13 – Mapa da cidade de Campo Mourão – PR

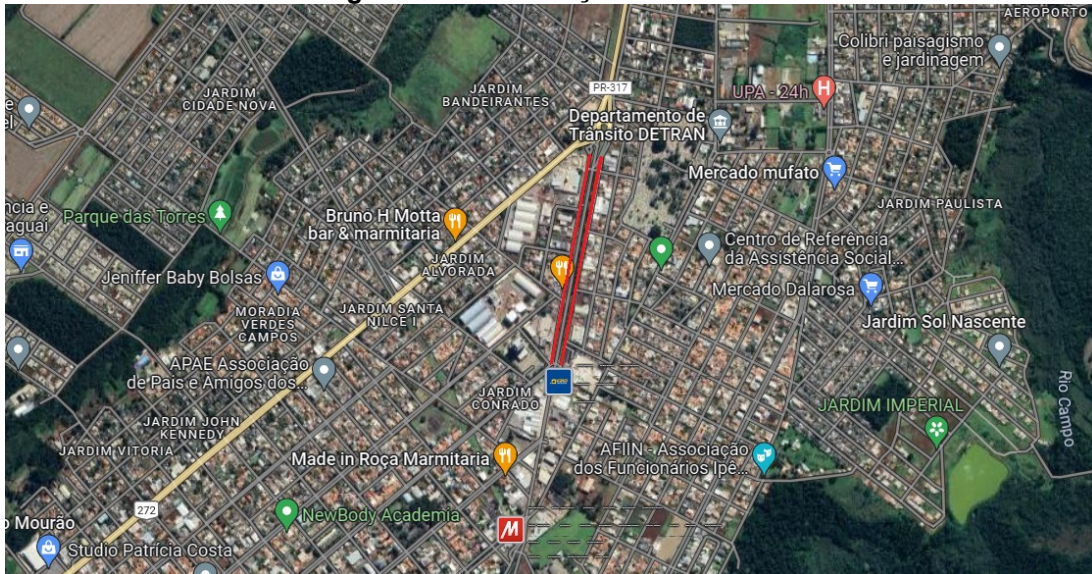


Fonte: Google Maps (2023)

O local selecionado para realizar o estudo são as marginais da PR-840 de duplo sentido que se inicia no entroncamento da PR-317 no km 0,00 e finaliza na Av. Comendador Norberto Marcondes no km 0,90, localizadas na via Marginal Gelindo D. Stefanuto (lado direito) e a marginal da Rua Maria Olímpia Jardim (lado esquerdo). Conforme Figura 14.

O critério de seleção para o local dos estudos ocorreu em função do mesmo tratar-se de vias de acesso importantes para o município de Campo Mourão, onde estão localizadas diversas empresas, com destaque para a principal unidade de centro de distribuição de grãos da Cooperativa Agropecuária Mourãoense Ltda. (COAMO). Deste modo, o local apresenta um tráfego pesado, com média de 90 caminhões por dia.

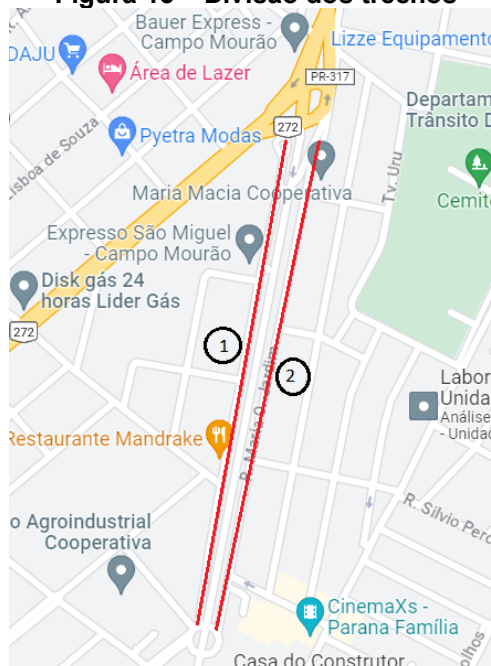
Figura 14 – Localização dos trechos



Fonte: Google Maps (2023)

A Figura 15 ilustra o mapa das marginais da PR-840 que foi dividido em dois trechos homogêneos, trecho 1 para o lado direito e trecho 2 para o lado esquerdo.

Figura 15 – Divisão dos trechos



Fonte: Google Maps (2023)

4.2 Avaliação Funcional

Após a definição dos trechos, foi realizada a avaliação funcional por meio da avaliação objetiva da superfície do pavimento de acordo com as normas DNIT 005 (2003a) e DNIT 006 (2003b).

Nesta etapa foi executado o inventário de defeitos a partir de dados fornecidos pela empresa Itaipu Indústria e Comércio de Britas e Asfalto LTDA. Com os dados obtidos para cada trecho do estudo foi determinado o Índice de Gravidade Global (IGG).

Para as ocorrências inventariadas, deve-se calcular as frequências absolutas e relativa. A frequência absoluta (f_a) é o número de vezes que o defeito é inventariado, já a frequência relativa (f_r) é obtida pela Equação 1

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

Onde:

f_r : frequência relativa;

f_a : é a frequência absoluta;

n: número de estações inventariadas.

Com os valores de trilha de roda, calcula-se pela norma DNIT 006 (2003b) para pista simples a média aritmética (x) dos valores de flechas obtidas nas TRI (trilha de roda interna) e TER (trilha de roda externas) e a variância (s^2) pelas Equações 2 e 3.

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

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

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.

Com isso calcula-se o Índice de Gravidade Individual (IGI) e o com o seu somatório o Índice de Gravidade Global (IGG) pelas Equações 4 e 5.

$$IGI = fr \times fp \quad (4)$$

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

Após os cálculos, o pavimento é classificado pelo grau de degradação de acordo com o intervalo dos valores de IGG obtidos, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – 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 DNIT (2003b, p.5)

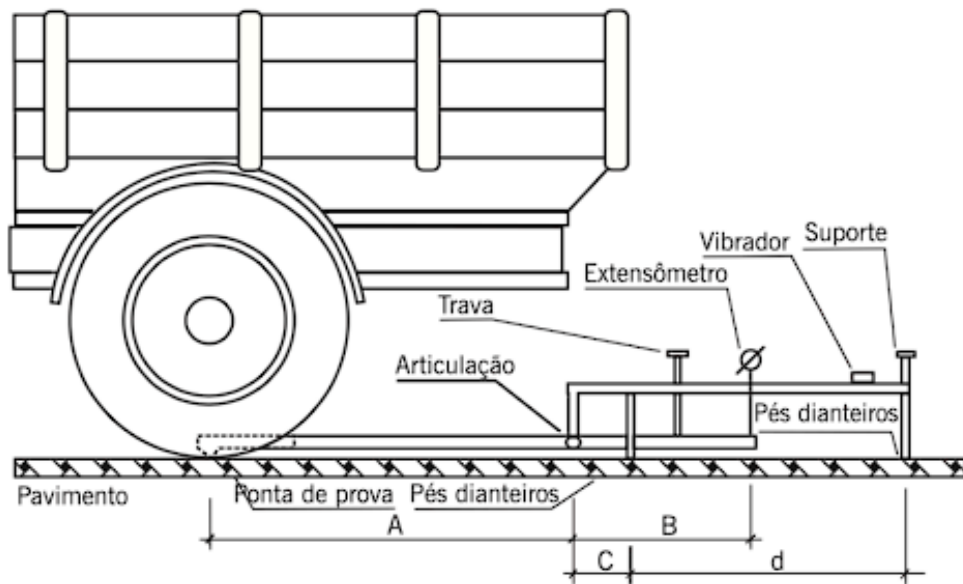
4.3 Avaliação Estrutural

A avaliação estrutural dos trechos foi realizada a partir de resultados obtidos nos ensaios de Viga Benkelman, seguindo a padronização da DNER-ME 24 (1994). Esses ensaios fornecerão informações importantes sobre as deflexões do pavimento, os quais são essenciais para definição do raio de curvatura.

Novamente os dados foram fornecidos pela empresa Itaipu Indústria e Comércio de Britas e Asfalto LTDA, incluindo o valor do número N de 2,63E+6 obtido por estudos de tráfego.

O ensaio é realizado a seguinte maneira: é necessário primeiramente posicionar um caminhão com eixo traseiro simples de roda dupla carregado com 8,2t no ponto a ser realizado a leitura; posicionar a ponta de prova da viga abaixo do eixo entre os pneus duplos tendo como referência uma marca feita no caminhão; libera a trava; liga o vibrador; fazer a leitura inicial (Li) do extensômetro; desligar o vibrador; afastar o caminhão em uma distância de 25 cm; realizar a leitura novamente do extensômetro; afastar o caminhão pelo menos 10 metros e realizar a leitura final (Lf) (BERNUCCI *et al*, 2008). O esquema é demonstrado na Figura 16.

Figura 16 – Esquema da viga Benkelman



Fonte: DNER-ME 024 (1994, p.6)

Com os dados de leitura inicial, leitura final e relação A/B da viga é possível calcular a deflexão (D_0) calculado pela Equação 6.

$$D_0 = (L_0 - L_f) \times \frac{a}{b} \quad (6)$$

Onde:

D_0 : deflexão real ou verdadeira medida em centésimo de milímetro;

L_0 : leitura inicial medida em centésimo de milímetro;

L_f : leitura final medida em centésimo de milímetro;

$\frac{a}{b}$: dimensões da viga, conforme Figura 16.

Em seguida é possível calcular o Raio de Curvatura pela Equação 7.

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

Onde:

R: raio de curvatura em metros;

D_0 : deflexão real ou verdadeira medida em centésimo de milímetro;

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

O Raio de curvatura mostra o quão bom está a distribuição das tensões nas camadas do pavimento, quanto maior o raio de curvatura melhor é a condição estrutural do pavimento, por se tratar de um pavimento flexível é necessário que esteja bem distribuído as tensões nas camadas do pavimento. O valor limite mínimo e desejável de raio de curvatura do pavimento é de 100m.

4.4 Diagnóstico e solução dos trechos

Com base nos dados obtidos nas avaliações funcional e estrutural serão realizados os cálculos necessários para obter um diagnóstico da situação atual dos trechos em estudo e propor uma solução de manutenção ou reabilitação dos pavimentos conforme a norma DNER-PRO 11 (1979). Essas soluções podem incluir ações de reabilitação como fresagem, recapeamento ou reconstrução ou atividades de manutenção como reparos de defeitos específicos e outras medidas pontuais.

O Cálculo da média aritmética das deflexões individuais é feito pela Equação 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.

Determina-se então o valor do desvio padrão (σ) para a amostra pela Equação 9.

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

Calcula-se então a deflexão característica pela Equação 10.

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

Para realizar a medida das deflexões é recomendado que seja feito logo após uma estação chuvosa pois o subleito está com o máximo de umidade possível, ou seja, levando em conta a pior situação possível. Porém isso não é sempre possível, portanto, para os cálculos de deflexão é utilizado um fator de correção sazonal (F_s) a fim de corrigir simulando uma época chuvosa. Para definir esse valor deve-se levar em conta a distribuição das precipitações mensais médias da região, as precipitações ocorridas nos últimos 3 meses e as características do subleito do trecho em estudo (DNER-PRO 11, 1979). Conforme o Quadro 4.

Quadro 4 – 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 011/79 (1979, p.9)

A deflexão característica corrigida ou deflexão de projeto é calculado então pela Equação 11.

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

Onde:

D_p : deflexão característica corrigida ou deflexão de projeto, 0,01 mm;

D_c : deflexão característica obtida para a época do levantamento deflectométrico, em 0,01 mm;

F_s : fator de correção sazonal.

Segundo a DNER-PRO 11 (1979) para definir o reforço do pavimento é necessário manter a deflexão abaixo de um valor de deflexão admissível (D_{adm}), para que não ocorram defeitos na superfície do pavimento. A deflexão admissível depende do valor de número N de solicitações de eixo padrão de 8,2 t, sendo calculado para revestimento de concreto betuminoso executado sobre base granular pela Equação 12.

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

Onde:

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

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

Para a avaliação estrutural do pavimento deve-se considerar alguns parâmetros para a tomada decisão quanto as medidas corretivas, de acordo com o Quadro 4, são eles:

N: número de solicitações de um eixo padrão de 8.2tf onde durante o período de projeto ele representa o mesmo efeito que o trafego previsto sobre a estrutura do pavimento D_p : deflexão de projeto;

R: raio de curvatura;

D_{adm} : deflexão admissível;

IGG: Índice de Gravidade Global

Finalmente, para calcular a espessura de reforço do pavimento de camada concreto betuminoso utiliza-se a Equação 13.

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

Onde:

h_{cb} : espessura de reforço do pavimento em centímetros;

D_p : deflexão de projeto;

D_{adm} : deflexão admissível.

O valor mínimo de espessura da camada de reforço recomendado pelo DNIT (2006), é de 3 cm.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados todos os resultados obtidos em campo e os devidos cálculos de acordo com a teoria apresentada neste trabalho.

5.1 Avaliação Funcional

Na avaliação foi observado a ausência de trilhas de roda em ambos os trechos devido aos inúmeros defeitos superficiais encontrados, como mostra as Fotografias 1, 2, 3 e 4. Foram então classificados os defeitos pelos inventários dos anexos A e B para os cálculos de IGG.

Fotografia 1 – Trilha de roda negativa marginal direita



Fonte: Autoria própria (2023).

Fotografia 2 – Defeitos superficiais marginal direita



Fonte: Autoria própria (2023).

Fotografia 3 – Remendos e trincas marginal esquerda



Fonte: Autoria própria (2023).

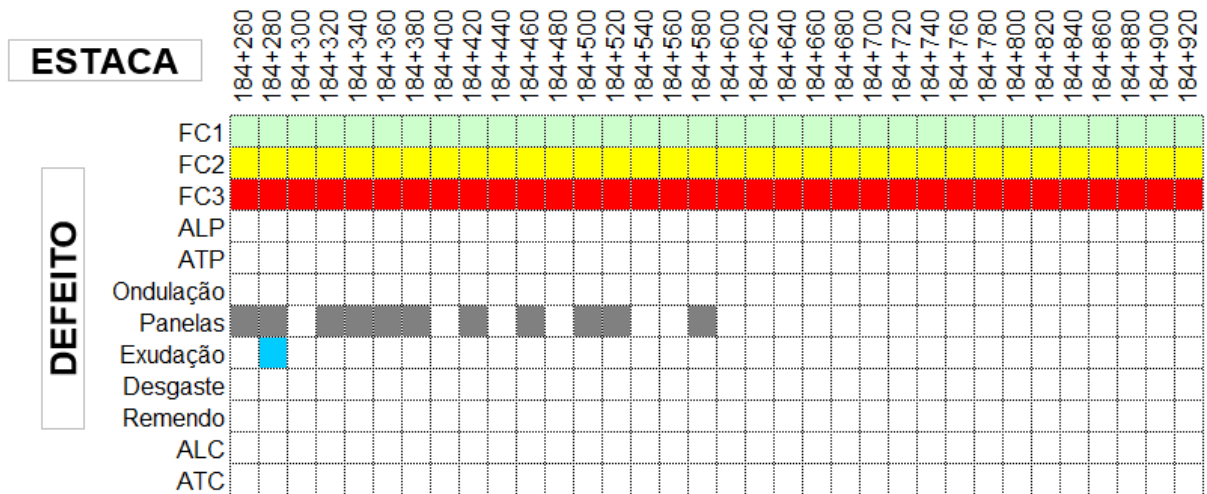
Fotografia 4 – Defeitos superficiais marginal esquerda



Fonte: Autoria própria (2023).

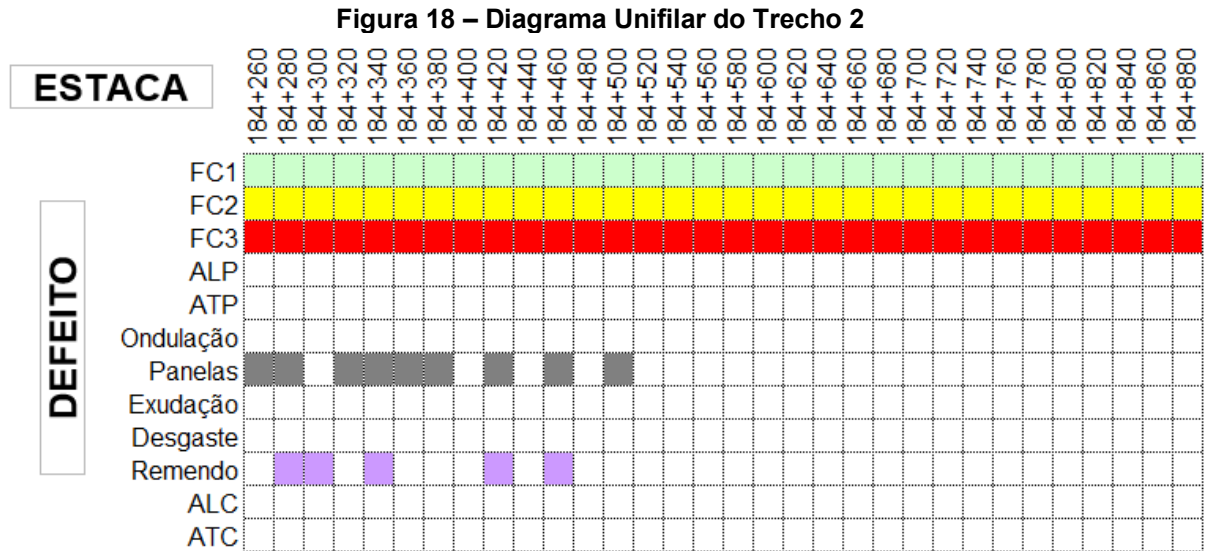
Analisando os Anexos A e B foi feito um diagrama unifilar representados nas Figuras 17 e 18.

Figura 17 – Diagrama Unifilar do Trecho 1



Fonte: Autoria própria (2023).

No trecho 1 foi notado trincas de classe FC-1, FC-2 e FC-3 ao longo de todo o estaqueamento, além de panelas em 11 pontos.



Fonte: Autoria própria (2023).

No trecho 2 também foi notado trincas de classe FC-1, FC-2 e FC-3 ao longo de todo o estaqueamento, com painéis em 9 pontos e remendos em 5 pontos.

Foi então calculado a frequência absoluta com a Equação 1, utilizando o fator de ponderação para cada defeito inventariado em cada trecho conforme o Quadro 1, seguiu-se para a Equação 4 com cálculo do índice de gravidade individual. Por fim foi classificado a situação atual do pavimento com o valor de IGG de acordo com o Quadro 3. É apresentado no Quadro 5 os resultados do trecho 1 e no Quadro 6 os resultados do trecho 2.

Quadro 5 – Avaliação Superficial do Trecho 1

Defeito/Classe	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Fator de ponderação	Índice de Gravidade Individual
FC-3	34	100,00	0,80	80,00
P	11	32,35	1,00	32,35
EX	1	2,94	0,50	1,47
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES INVENTARIADAS = 34			IGG =	113,82
CONCEITO				RUIM

Fonte: Autoria própria (2023)

Quadro 6 – Avaliação Superficial do Trecho 2

Defeito/Classe	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Fator de ponderação	Índice de Gravidade Individual
FC-3	32	100,00	0,80	80,00
P	9	28,13	1,00	28,13
R	5	15,63	0,60	9,38
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES INVENTARIADAS = 32			IGG =	117,50
CONCEITO				RUIM

Fonte: Autoria própria (2023)

Analisando o inventário obtido para ambos os trechos, de acordo com os cálculos foi conceituado o pavimento como ruim. Para o Trecho 1 predominou o defeito de trincas interligadas com erosão tipo FC-3 e defeitos de painelas. Para o Trecho 2 predominou também as trincas interligadas com erosão tipo FC-3, além de painelas e remendos.

5.2 Avaliação Estrutural

Foi realizado a aferição da viga para realização dos ensaios conforme apresentado no item 4.3 do presente trabalho. As Fotografias 5, 6 e 7 registram o ensaio.

Fotografia 5 – Leitura Inicial de Viga Benkelman no Trecho 1



Fonte: Autoria própria (2023)

Fotografia 6 – Leitura Final de Viga Benkelman no Trecho 1



Fonte: Autoria própria (2023)

Fotografia 7 – Leitura Inicial de Viga Benkelman no Trecho 2



Fonte: Autoria própria (2023)

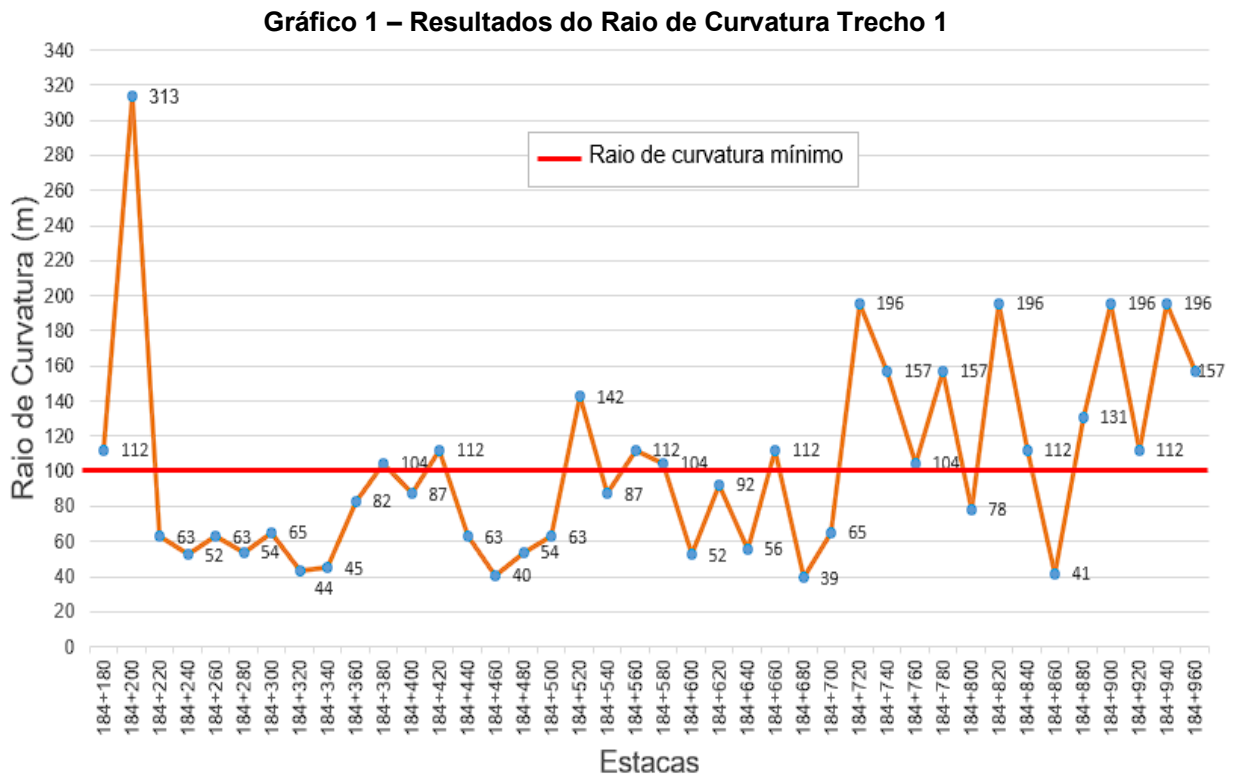
Foi posicionado nas estacas definidas uma a uma e realizado leitura inicial, intermediária em uma distância de 25 cm e leitura final para ambos os trechos. Foi então calculado os valores de deflexão conforme Equação 6 e o Raio de Curvatura de acordo com a Equação 7. Os resultados obtidos são apresentados nos Quadros 7 e 8.

Quadro 7 – Resultados de Viga Benkelman do Trecho 1

Estaca	Leituras (0,01mm)			D0	D25	Raio de curvatura
	Inicial	Intermed.	Final			
	L0	L25	Lf			
184+180	500	486	451	98	70	112
184+200	500	495	489	22	12	313
184+220	500	475	436	128	78	63
184+240	500	470	442	116	56	52
184+260	500	475	435	130	80	63
184+280	500	471	432	136	78	54
184+300	500	476	442	116	68	65
184+320	500	464	440	120	48	44
184+340	500	465	441	118	48	45
184+360	500	481	432	136	98	82
184+380	500	485	443	114	84	104
184+400	500	482	445	110	74	87
184+420	500	486	465	70	42	112
184+440	500	475	450	100	50	63
184+460	500	461	442	116	38	40
184+480	500	471	436	128	70	54
184+500	500	475	437	126	76	63
184+520	500	489	434	132	110	142
184+540	500	482	460	80	44	87
184+560	500	486	465	70	42	112
184+580	500	485	462	76	46	104
184+600	500	470	462	76	16	52
184+620	500	483	465	70	36	92
184+640	500	472	455	90	34	56
184+660	500	486	443	114	86	112
184+680	500	460	448	104	24	39
184+700	500	476	452	96	48	65
184+720	500	492	482	36	20	196
184+740	500	490	453	94	74	157
184+760	500	485	472	56	26	104
184+780	500	490	470	60	40	157
184+800	500	480	478	44	4	78
184+820	500	492	486	28	12	196
184+840	500	486	450	100	72	112
184+860	500	462	434	132	56	41
184+880	500	488	464	72	48	131
184+900	500	492	472	56	40	196
184+920	500	486	475	50	22	112
184+940	500	492	483	34	18	196
184+960	500	490	475	50	30	157

Fonte: Itaipu (2023)

Com base nos dados foi elaborado o Gráfico 1 que representa o raio de curvatura ao longo do trecho 1.



Fonte: Autoria própria (2023)

Analisando os dados do Quadro 7 e Gráfico 1 notou-se que no início do estaqueamento apresentou deflexões altas e consequentemente raio de curvatura baixo, o contrário aconteceu no fim do estaqueamento com raios de curvatura alto e deflexões baixas, ou seja, a estrutura do pavimento do início do trecho está pior que o final. Esses resultados são condizentes pois no início do trecho é onde se concentra o maior volume de tráfego de caminhões da Coamo.

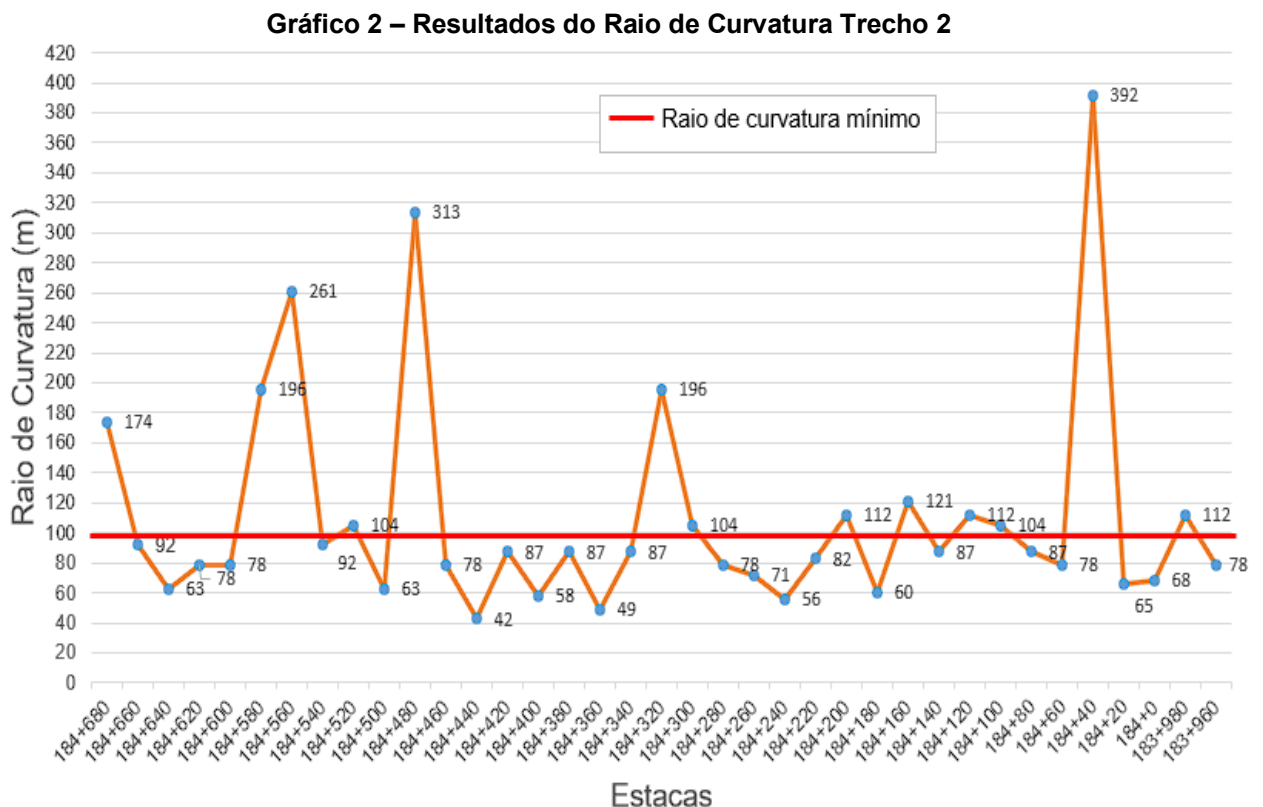
Quadro 8 – Resultados de Viga Benkelman do Trecho 2

Estaca	Leituras (0,01mm)			D0	D25	Raio de curvatura
	Incial	Intermed.	Final			
	L ₀	L ₂₅	L _f			
184+680	500	491	488	24	6	174
184+660	500	483	462	76	42	92
184+640	500	475	460	80	30	63
184+620	500	480	462	76	36	78
184+600	500	480	460	80	40	78
184+580	500	492	471	58	42	196
184+560	500	494	485	30	18	261
184+540	500	483	460	80	46	92
184+520	500	485	473	54	24	104
184+500	500	475	472	56	6	63
184+480	500	495	484	32	22	313
184+460	500	480	470	60	20	78
184+440	500	463	443	114	40	42

Continuação do Quadro 8						
184+420	500	482	462	76	40	87
184+400	500	473	452	96	42	58
184+380	500	482	467	66	30	87
184+360	500	468	453	94	30	49
184+340	500	482	462	76	40	87
184+320	500	492	472	56	40	196
184+300	500	485	443	114	84	104
184+280	500	480	460	80	40	78
184+260	500	478	462	76	32	71
184+240	500	472	459	82	26	56
184+220	500	481	461	78	40	82
184+200	500	486	460	80	52	112
184+180	500	474	465	70	18	60
184+160	500	487	472	56	30	121
184+140	500	482	462	76	40	87
184+120	500	486	463	74	46	112
184+100	500	485	465	70	40	104
184+80	500	482	459	82	46	87
184+60	500	480	462	76	36	78
184+40	500	496	490	20	12	392
184+20	500	476	457	86	38	65
184+0	500	477	440	120	74	68
183+980	500	486	472	56	28	112
183+960	500	480	469	62	22	78

Fonte: Itaipu (2023)

Com base nos dados foi elaborado o Gráfico 2 que representa o raio de curvatura ao longo do trecho 2.



Analisando os dados do Quadro 8 e Gráfico 2 notou-se que o trecho está melhor estruturalmente pois os raios de curvatura ficaram mais próximos de 100. Esses resultados estão condizentes pois nesse trecho o trafego é moderado.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que o Trecho 1 apresentou maiores deflexões com uma média de 89,83 e Raios de curvatura mais baixos com uma média de 103. O Trecho 2 apresentou deflexões menores com uma média de 71,19 e Raios de Curvatura mais altos com uma média de 110.

5.3 Dimensionamento DNER-PRO 11/79

Os cálculos do dimensionamento foram seguidos conforme a norma, sendo primeiramente determinada a média aritmética das deflexões (D) pela Equação 8, o desvio padrão (σ) através da Equação 9 e a deflexão característica (D_c) com a Equação 10, sendo apresentados os resultados no Quadro 9.

Quadro 9 – Parâmetros iniciais do Trecho 1 e 2

Parâmetros	Trecho 1	Trecho 2
D	89,83	71,19
σ	33,63	22,26
D_c	123,46	93,45

Fonte: Autoria própria (2023)

Foi estabelecido o fator de correção sazonal a ser utilizado, considerando a distribuição das precipitações mensais e o mês em que foi realizado o levantamento, foi utilizado o fator igual a 1,00 considerando que o levantamento foi realizado no mês de janeiro e que as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano nesta região, não havendo períodos de seca. A deflexão característica corrigida ou deflexão de projeto foi calculada então pela Equação 11. Portanto, a deflexão de projeto do Trecho 1 será $D_p = 123,46$ e para o Trecho 2 $D_p = 93,45$.

Um dos principais parâmetros de entrada e base para o cálculo do reforço, é a deflexão máxima admissível (D_{adm}), a qual se relaciona ao número N , definido aqui no valor de $2,63E+6$. Assim foi calculado pela Equação 12 e analisado os resultados obtidos conforme do Quadro 4 para classificar o pavimento quanto a sua qualidade estrutural. Por afim, foi calculado o reforço pela Equação 13. O Quadro 10 mostra o resumo dos parâmetros do pavimento e a medida corretiva.

Quadro 10 – Resultados Dimensionamento DNIT PRO 11/79

Trecho	RC (m)	Dp (0,01mm)	Dadm (0,01mm)	Qualidade Estrutural	Necessidade de Estudo Complementar	Critério para Cálculo de Reforço	hcb	Medida Corretiva
1	103	123	76	REGULAR	NÃO	Deflectométrico	9 cm	Reforço
2	110	93	76	REGULAR	NÃO	Deflectométrico	4 cm	Reforço

Fonte: Autoria própria (2023)

Portanto com avaliações e cálculos realizados de acordo com a metodologia da norma é necessária uma medida corretiva de reforço (recape) em ambos os trechos, 9 cm para o trecho 1 e 4 cm para o trecho 2.

6 CONCLUSÃO

Os segmentos da PR-840 avaliados funcionalmente apresentaram diversos defeitos superficiais como trinca curtas, longas, tipo bloco, tipo couro jacaré, remendos e painelas. Ambos os trechos foram classificados como ruins, prejudicando diretamente o conforto e segurança do usuário. Por tratar-se de uma avaliação visual, obtém-se resultados rápidos a respeito da camada superficial do pavimento, porém não avalia a estrutura do pavimento como um todo.

A avaliação estrutural do pavimento através dos ensaios de Viga Benkelman resultou em deflexões altas e raios de curvatura com valores baixos para o trecho 1, para o trecho 2 foi o contrário, deflexões baixas e raio de curvatura alto, juntamente com as análises recomendadas pelo método da DNIT PRO 11(1979) foi classificado a qualidade estrutural do pavimento de ambos os trechos como regular sendo necessário reforço como medida corretiva.

A proposta apresentada para o trecho 1, o qual apresentou deflexões maiores em relação ao trecho 2, é de um reforço de 9 cm. Esse resultado já era esperado para esse segmento, em função do tráfego pesado constante de caminhões da COAMO. Já para o trecho 2 é necessário um reforço de 4 cm, que é bem usual para esse tipo de via em que o tráfego maior é de veículos de passeio e caminhões leves.

Com as medidas corretivas de reforço adotadas o pavimento estará apto para receber o tráfego solicitante. A proposta de correção serve apenas como base para o projetista quanto a solução, que deverá detalhar em projetos os materiais e a forma de execução.

7 REFERÊNCIAS

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

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 2008.

BRASIL. **Instrução de Projeto IP-DE-P00/003 – Avaliação Funcional e Estrutural de Pavimento**. São Paulo, Brasil, Departamento de Estradas de Rodagem. Secretaria dos Transportes, 2006.

BRASIL. **Norma DNER-PRO 11/79 – Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Procedimento B**. Rio de Janeiro, Brasil, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1979.

BRASIL. **Norma DNER-PRO 24/94 – Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman**. Rio de Janeiro, Brasil, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994.

BRASIL. **Norma DNER-PRO 175/94 – Aferição de pela viga Benkelman**. Rio de Janeiro, Brasil, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994.

BRASIL. **NORMA DNIT 005/2003 - TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos**. Rio de Janeiro, Brasil, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de planejamento e pesquisa. Coordenação geral de estudos e pesquisa. Instituto de Pesquisas, 2003a.

BRASIL. **NORMA DNIT 006/2003 - PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos**. Rio de Janeiro, Brasil, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de planejamento e pesquisa. Coordenação geral de estudos e pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2003b.

BRASIL. **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro, Brasil, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006a

BRASIL. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro, Brasil, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006b

FERNANDES JÚNIOR, J.L.; ODA, S.; ZERBINI, L.F. **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação asfálticos**. Apostila. Departamento de Transportes. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, janeiro de 2006.

GOOGLE, INC. **Google Maps**. Mapa de Campo Mourão - PR. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-24.0330824,-52.407812,12.52z?entry=ttu>. Acesso em: 27 set 2023.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/campo-mourao.html>. Acesso em: 27 set. 2023

ITAIPU INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE BRITAS E ASFALTO LTDA. **Itaipu**: dados de inventário de defeitos e viga benkelman. Campo Mourão, 2023.

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

PINTO, J. I. B. R. **Caracterização superficial de pavimentos rodoviários**. 2003. Dissertação (Mestrado em Vias de Comunicação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2003.

SILVA, P. F. A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2008.

ANEXO A – Inventario de defeitos superficiais do Trecho 1

km		Lado	Seção Terrap.	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRILHA DE RODAS		Observações			
				ISOLADAS					INTERLIGADAS			PLASTICO		CONSOLID		O	P	E	EX	D	R	TRI mm	TRE mm				
				FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	FC - 2		FC - 3		ALP	ATP	ALC	ATC										
										J	TB	JE	TBE														
184,260	LD			X	X	X	X			X	X	X	X							X						-	-
184,280	LE			X	X	X	X			X	X	X	X							X		X				-	-
184,300	LD			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,320	LE			X	X	X	X			X	X	X	X							X						-	-
184,340	LD			X	X	X	X			X	X	X	X							X						-	-
184,360	LE			X	X	X	X			X	X	X	X							X						-	-
184,380	LD			X	X	X	X			X	X	X	X							X						-	-
184,400	LE			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,420	LD			X	X	X	X			X	X	X	X							X						-	-
184,440	LE			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,460	LD			X	X	X	X			X	X	X	X							X						-	-
184,480	LE			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,500	LD			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,520	LE			X	X	X	X			X	X	X	X							X						-	-
184,540	LD			X	X	X	X			X	X	X	X							X						-	-
184,560	LE			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,580	LD			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,600	LE			X	X	X	X			X	X	X	X							X						-	-
184,620	LD			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,640	LE			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,660	LD			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,680	LE			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,700	LD			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,720	LE			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,740	LD			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,760	LE			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,780	LD			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,800	LE			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,820	LD			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,840	LE			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,860	LD			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,880	LE			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,900	LD			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-
184,920	LE			X	X	X	X			X	X	X	X													-	-

Trecho apresenta grandes deformações, tapa buraco BV, painelas, trincas, exsudação, assim não sendo possível definir trilha de roda

ANEXO B – Inventario de defeitos superficiais do Trecho 2

km		Lado	Seção Terrap.	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRILHA DE RODAS		Observações				
				ISOLADAS				INTERLIGADAS				PLASTICO		CONSOLID		O	P	E	EX	D	R	TRI mm	TRE mm					
				FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	FC - 2		FC - 3		ALP	ATP	ALC	ATC											
										J	TB	JE	TBE															
184,260	LD				X	X	X	X		X	X	X	X								X						-	-
184,280	LE				X	X	X	X		X	X	X	X								X				X		-	-
184,300	LD				X	X	X	X		X	X	X	X											X		-	-	
184,320	LE				X	X	X	X		X	X	X	X								X					-	-	
184,340	LD				X	X	X	X		X	X	X	X								X			X		-	-	
184,360	LE				X	X	X	X		X	X	X	X								X					-	-	
184,380	LD				X	X	X	X		X	X	X	X								X					-	-	
184,400	LE				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,420	LD				X	X	X	X		X	X	X	X								X			X		-	-	
184,440	LE				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,460	LD				X	X	X	X		X	X	X	X								X			X		-	-	
184,480	LE				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,500	LD				X	X	X	X		X	X	X	X								X					-	-	
184,520	LE				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,540	LD				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,560	LE				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,580	LD				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,600	LE				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,620	LD				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,640	LE				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,660	LD				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,680	LE				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,700	LD				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,720	LE				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,740	LD				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,760	LE				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,780	LD				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,800	LE				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,820	LD				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,840	LE				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,860	LD				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	
184,880	LE				X	X	X	X		X	X	X	X													-	-	

Trecho apresenta grandes deformações, tapa buraco BV, painelas, trincas, exsudação, assim não sendo possível definir trilha de roda