



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA – UEPB  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE – CCTS – CAMPUS VIII  
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ANDERSON HENRIQUE TOMÉ DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE UM TRECHO DE PAVIMENTO  
FLEXÍVEL NA PB-293 E ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS  
PARA OBTENÇÃO DA DEFLEXÃO**

ANDERSON HENRIQUE TOMÉ DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE UM TRECHO DE PAVIMENTO  
FLEXÍVEL NA PB-293 E ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS  
PARA OBTENÇÃO DA DEFLEXÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Engenharia Civil da Universidade estadual da Paraíba como requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.

**Área de concentração:** Pavimentação.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Albaniza Maria da Silva Lopes.

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S237a Santos, Anderson Henrique Tome dos.  
Avaliação funcional de um trecho de pavimento flexível na PB-293 e análise comparativa de métodos para obtenção da deflexão [manuscrito] / Anderson Henrique Tome dos Santos. - 2020.  
88 p.: il. colorido.  
Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2020.  
"Orientação: Profa. Ma. Albaniza Maria da Silva Lopes, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."  
1. Defeitos em pavimentos flexíveis. 2. Deformações recuperáveis. 3. Equipamentos deflectométricos. I. Título  
21. ed. CDD 624

ANDERSON HENRIQUE TOMÉ DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE UM TRECHO DE PAVIMENTO  
FLEXÍVEL NA PB-293 E ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS  
PARA OBTENÇÃO DA DEFLEXÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Engenharia Civil da Universidade estadual da Paraíba como requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Ma. Albaniza Maria da Silva Lopes

Aprovado em: 10/12/2020.

**BANCA EXAMINADORA**

*Albaniza Maria da Silva Lopes*

---

Prof<sup>a</sup>. Ma. Albaniza Maria da Silva Lopes (Orientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Maria das Vitórias do Nascimento*

---

Prof<sup>a</sup>. Ma. Maria Das Vitórias do Nascimento  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Loredanna Melyssa Costa de Souza*

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Loredanna Melyssa Costa de Souza  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, criador de todas as coisas, por me proporcionar a perseverança de não desistir, mesmo passando por momentos de turbulência.

Aos meus pais, Joaquim e Maria Da Guia, que sempre me apoiarem, e não mediram esforços para a conclusão de mais uma etapa da minha vida, não deixando faltar amor e incentivo.

Aos meus irmãos Igo, Davi, José Antônio, Izabele, Maria Eduarda, Maria Clara e Maria Luiza, pelo companheirismo durante essa jornada.

A minha noiva Taysa, por ser minha companheira de todos os momentos, comemorando as conquistas e sendo meu porto seguro nos momentos de dificuldade.

Aos meus colegas de turma, em especial a Eduardo, Igor, Fagna e Lidja, pela vivência e cumplicidade ao longo desses 5 anos, e posso dizer que além de colegas de turma são meus amigos.

Aos meus professores, por me capacitarem da melhor forma possível, dando subsídios para o crescimento humano e profissional, em especial a minha orientadora Albaniza, que soube me conduzir na realização desse trabalho, conferindo toda a assistência necessária. A Universidade Estadual da Paraíba, por me conceder essa oportunidade.

## RESUMO

O modal rodoviário é o mais utilizado no Brasil, interferindo diretamente na logística do país, e tornando necessário que os pavimentos apresentem níveis de desempenho aceitáveis. Dessa forma, as avaliações funcionais e estruturais possuem fundamental importância para que se possa aferir o real estado de degradação tanto da camada de revestimento quanto das camadas subjacentes, a fim de determinar de forma assertiva a intervenção que devolva ao pavimento condições de conforto e segurança adequados, e seja economicamente executável. O presente trabalho objetivou avaliar funcionalmente um trecho de pavimento flexível na rodovia estadual PB-293, analisando comparativamente, por meio da literatura, os métodos de obtenção de deflexão, a fim de definir o mais viável para se realizar uma avaliação estrutural futura. A metodologia dividiu-se em duas etapas, a primeira de forma prática, avaliando a condição atual da camada de rolamento do trecho, subjetivamente (por meio de correlação) através do valor de serventia atual (VSA), e objetivamente pelo cálculo do índice de gravidade global (IGG). A segunda, desenvolveu-se por meio de revisão literária, analisando as características dos principais métodos para obtenção das deformações recuperáveis, e comparando os mais difundidos no Brasil, a viga Benkelmam (VB) e o Falling Weight Deflectometer (FWD), listando suas vantagens e desvantagens. Realizou-se a avaliação funcional do trecho, dividindo-o em dois segmentos homogêneos com diferentes graus de degradação da camada de rolamento, o primeiro apresentou um IGG de 74.57 e um VSA de 2.16, e foi conceituado em regular, já o segundo, com IGG de 174.86 e VSA 0.81 foi conceituado como péssimo. Para o segmento homogêneo 1 a solução proposta foi a aplicação de microrrevestimento, com intuito de devolver ao subtrecho níveis de desempenho adequados, já no segmento homogêneo 2, pelo elevado grau de degradação da superfície, a solução seria a reconstrução total do segmento. O método considerado mais viável e indicado para uma futura avaliação estrutural no trecho foi a viga Benkelmam.

**Palavras-Chave:** Defeitos em pavimentos flexíveis. Deformações recuperáveis. Equipamentos deflectométricos.

## ABSTRACT

The road modal is the most used in Brazil, directly interfering in the country's logistics, making it necessary for the pavements to present acceptable performance levels. Thus, functional and structural evaluations are of fundamental importance so that the real state of degradation of both the cladding layer and the underlying layers can be assessed, in order to assertively determine the intervention that returns adequate comfort and safety conditions to the floor, and is economically feasible. The present work aimed to functionally evaluate a stretch of flexible pavement on the state highway PB-293, comparatively analyzing, through the literature, the methods of obtaining deflection, in order to define the most feasible to carry out a future structural assessment. The methodology was divided into two stages, the first in a practical way, assessing the current condition of the section's rolling layer, subjectively (by means of correlation) through the current service value (VSA), and objectively by calculating the index of global gravity (IGG). The second was developed through a literary review, analyzing the characteristics of the main methods for obtaining recoverable deformations, and comparing the most widespread in Brazil, the Benkelmam beam (VB) and the Falling Weight Deflectometer (FWD), listing its advantages and disadvantages. A functional evaluation of the stretch was carried out, dividing it into two homogeneous segments with different degrees of degradation of the rolling layer, the first presented an IGG of 74.57 and a VSA of 2.16, and was considered to be regular, the second, with IGG of 174.86 and VSA 0.81 was rated as terrible. For the homogeneous segment 1, the proposed solution was the application of micro-coating, in order to return to the sub-segment adequate performance levels, in the homogeneous segment 2, due to the high degree of surface degradation, the solution would be the total reconstruction of the segment. The Benkelmam beam was considered the most viable method and indicated for a future structural evaluation on the stretch.

**Keywords:** Defects in flexible pavements. Recoverable deformations. Deflectometric equipment.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Camadas estruturais de pavimentos rígidos. ....	20
<b>Figura 2</b> – Resposta mecânica dos pavimentos rígidos. ....	21
<b>Figura 3</b> – Camadas estruturais de pavimentos flexíveis. ....	22
<b>Figura 4</b> – Resposta mecânica dos pavimentos flexíveis. ....	22
<b>Figura 5</b> – ATP. ....	25
<b>Figura 6</b> – ALC. ....	26
<b>Figura 7</b> – ATC. ....	26
<b>Figura 8</b> – Ondulação. ....	27
<b>Figura 9</b> – VSA em função do tráfego ou tempo de utilização da via. ....	31
<b>Figura 10</b> – Período recomendado para manutenção de pavimentos. ....	31
<b>Figura 11</b> – Modelo de ficha de avaliação. ....	33
<b>Figura 12</b> – Modelo de Inventário de defeitos em Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos. ....	35
<b>Figura 13</b> – Extração de corpos de prova e furos de sondagem. ....	41
<b>Figura 14</b> – Equipamento DCP. ....	41
<b>Figura 15</b> – Tela do programa Retroanálise ao fim do processo. ....	43
<b>Figura 16</b> – Esquema de montagem da Viga Benkelman. ....	46
<b>Figura 17</b> – Esquema de posicionamento da VB no caminhão. ....	47
<b>Figura 18</b> – Equipamento Dynaflect. ....	50
<b>Figura 19</b> – FWD. ....	50
<b>Figura 20</b> – Esquema caminhão-deflectógrafo Lacroix. ....	52
<b>Figura 21</b> – Rodovia PB-293. ....	55
<b>Figura 22</b> – Divisão dos subtrechos homogêneos. ....	57
<b>Figura 23</b> – Esquema de marcação das estações e área de avaliação. ....	58
<b>Figura 24</b> – Fissuras. ....	63
<b>Figura 25</b> – Trinca transversal curta. ....	63
<b>Figura 26</b> – Trinca transversal longa. ....	63
<b>Figura 27</b> – Trinca longitudinal curta. ....	63
<b>Figura 28</b> – Trinca longitudinal longa. ....	64
<b>Figura 29</b> – Trincas couro de jacaré. ....	64
<b>Figura 30</b> – Trincas em bloco. ....	64
<b>Figura 31</b> – Trinca couro de jacaré com erosão. ....	64
<b>Figura 32</b> – Diversas painéis em uma mesma estação. ....	65

<b>Figura 33</b> – Exsudação. ....	65
<b>Figura 34</b> – Desgaste. ....	66
<b>Figura 35</b> – Diversos remendos. ....	66

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Condição do Pavimento em função do VSA. ....	30
<b>Tabela 2</b> – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG.....	39
<b>Tabela 3</b> – Distância de aplicação da VB em relação a borda do revestimento. ....	47
<b>Tabela 4</b> – Exemplo de resultado obtido no deflectógrafo Lacroix.....	53
<b>Tabela 5</b> – Características da rodovia PB-293.....	56
<b>Tabela 6</b> – Trechos e tipos de revestimento da camada de rolamento da PB-293.....	56
<b>Tabela 7</b> – Resultados obtidos para o subtrecho homogêneo 1. ....	60
<b>Tabela 8</b> – Resultados obtidos para o subtrecho homogêneo 2. ....	61

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Resumo dos defeitos, codificação e classificação. ....	36
<b>Quadro 2</b> – Fatores de ponderação. ....	37
<b>Quadro 3</b> – Comparativo entre viga Benkelmam e FWD. ....	67

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALP	Afundamento Plástico Local
ALC	Afundamento de Consolidação Local
ATP	Afundamento Plástico de Trilha de roda
ATC	Afundamento de Consolidação da Trilha de roda
CNT	Confederação Nacional do Transporte
D	Desgaste
DCP	Cone Dinâmico de Penetração
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
E	Exsudação
FE	Fenda
FI	Fissura
FP	Fator de Ponderação
FM	Flecha Média
FWD	Falling Weight Deflectometer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGG	Índice de Gravidade Global
IGI	Índice de Gravidade Individual
IP	Instrução de Projeto
IPR	InstGituto de Pesquisas Rodoviárias
J	Trinca Interligada Couro de Jacaré
JE	Trinca Interligada Couro de Jacaré com Erosão
ME	Método de Ensaio
O	Ondulação
P	Panela
PB	Paraíba
PRO	Procedimento
p.	Página
R	Remendo
SA	Seção de Aterro

SC	Seção de Corte
SIGA	Sistema de Informações Governamentais
SM	Seção Mista
SP	São Paulo
TB	Trinca em Bloco
TBE	Trinca em Bloco com Erosão
TER	Terminologia
TTC	Trinca Transversal Curta
TTL	Trinca Transversal Longa
TLC	Trinca Longitudinal Curta
TLL	Trinca Longitudinal Longa
TRE	Trilha de Roda Externa
TREV	Variância da Trilha de Roda Externa
TRI	Trilha de Roda Interna
TRIV	Variância de Trilha de Roda Interna
TSD	Tratamento Superficial Duplo
TSS	Tratamento Superficial Simples
VB	Viga Benkelmam
VM	Variância Média
VSA	Valor de Serventia Atual

## LISTA DE SÍMBOLOS

$f_a$	Frequência Absoluta
$f_r$	Frequência Relativa
$f_p$	Frequência Ponderada
$s$	Desvio padrão dos valores das flechas medidas (TRI e TRE)
$s^2$	Variância
$n$	Número de estações inventariadas
$\bar{x}$	Média aritmética dos valores das flechas medidas (TRI e TRE)
$x_i$	Valores individuais das flechas medidas (TRI e TRE)

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1. PAVIMENTO .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.1. Pavimentos rígidos.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.2. Pavimentos semirrígidos .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.3. Pavimentos flexíveis.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.1. Fendas (FE) .....</b>	<b>23</b>
3.2.1.1. Fissura (FI).....	23
3.2.1.2. Trinca.....	24
3.2.1.3. Trincas isoladas.....	24
3.2.1.4. Trincas interligadas.....	24
<b>3.2.2. Afundamento.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.3. Afundamento plástico.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.4. Afundamento de consolidação .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.5. Corrugação ou ondulação (O) .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.6. Exsudação (E) .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.7. Desgaste (D).....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.8. Panela (P).....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.9. Remendo (R) .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3. AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.1. Valor de serventia atual (VSA).....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.2. Índice de Gravidade Global (IGG) .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS .....</b>	<b>39</b>
<b>3.4.1. Método Destrutivo .....</b>	<b>40</b>
<b>3.4.2. Método Semidestrutivo .....</b>	<b>41</b>
<b>3.4.3. Método Não Destrutivo .....</b>	<b>42</b>
<b>3.4.4. Retroanálise.....</b>	<b>42</b>
<b>3.4.5. Equipamentos de medição das deformações recuperáveis.....</b>	<b>44</b>
<b>3.4.6. Ensaio de carga de placa .....</b>	<b>45</b>
<b>3.4.7. Viga Benkelman (VB).....</b>	<b>45</b>

3.4.8. Dynaflect.....	49
3.4.9. Falling Weight Deflectometer (FWD) .....	50
3.4.10. Deflectógrafo Lacroix .....	52
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>54</b>
4.1. ESTUDO DE CASO.....	55
4.1.1. A rodovia PB-293.....	55
4.1.2. O trecho .....	56
4.2. DEMARCAÇÃO DAS ESTAÇÕES.....	57
4.3. AVALIAÇÃO FUNCIONAL NO TRECHO .....	58
4.4. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL.....	59
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>60</b>
5.1. AVALIAÇÃO FUNCIONAL.....	60
5.2. COMPARATIVO ENTRE VB E FWD .....	67
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>69</b>
<b>7. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICE A – INVENTÁRIO DE DEFEITOS NO SUBTRECHO HOMOGÊNEO 1 .....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE B – INVENTÁRIO DE DEFEITOS NO SUBTRECHO HOMOGÊNEO 2 .....</b>	<b>79</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O modal rodoviário é o mais utilizado no Brasil, possuindo grande importância para a logística do país, sendo responsável por aproximadamente 61% do transporte de carga e 95% do transporte de passageiros, porém apenas 12,4% da malha rodoviária nacional é pavimentada (CNT, 2019), e em grande parte de sua extensão apresenta diversos tipos de defeitos, funcionais e/ou estruturais, causados pelos mais diversos motivos (fadiga, erros de dosagem e de execução, intemperismo etc.), influenciando diretamente na economia, conforto e segurança da via.

A situação das rodovias brasileiras nos últimos anos vem se agravando, e tornando-se um dos grandes problemas do país, pois não tem recebido a atenção necessária pelos órgãos responsáveis da área de transporte, o que deveria ser alvo de muita atenção, pelo fato de promover o deslocamento de bens e pessoas, o desenvolvimento do país e a manutenção do crescimento da economia entre as regiões (Barros e Carvalho, 2018).

De acordo com a pesquisa da CNT (2019), 59% da extensão total das rodovias avaliadas no Brasil apresentam algum tipo de problema no pavimento, tendo sido avaliado como regular, ruim ou péssimo, aumentando o custo operacional do transporte rodoviário de cargas em 28,5%, em média, devido à redução da durabilidade dos componentes veiculares e ao aumento do tempo de viagem e do consumo desnecessário de combustível, que em 2019, foi estimado em 931,80 milhões de litros de diesel, o que gera para o transportador um dispêndio adicional de R\$ 3,3 bilhões, além disso, pelas condições precárias das rodovias, os veículos são obrigados a trafegar em velocidade mais baixa, facilitando ações de roubos de cargas e assaltos a passageiros.

Após a implantação de um novo pavimento, o esperado é que o mesmo possua as melhores condições de conforto, segurança e economia, porém, com o passar do tempo o pavimento é exposto a diversas ações, provenientes da repetição de cargas advindas do tráfego e de fatores climáticas, bem como erros de dimensionamento e/ou execução, fazendo com que os indicadores de qualidade de trafegabilidade da via diminuam consideravelmente com o transcorrer de um período, fazendo com que haja a necessidade de correções e até mesmo restauração, para que o pavimento volte a apresentar níveis de desempenho aceitáveis.

O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) define que a avaliação funcional de um pavimento está associada as condições de conforto ao rolamento, interação pneu-pavimento, defeitos e irregularidades, e pode ser feita de forma objetiva e/ou subjetiva. Na avaliação funcional objetiva, o estado atual do pavimento é expresso numericamente, através da quantificação e

severidade das diversas manifestações de ruína, e para isso, o método utilizado neste trabalho será o IGG (Índice de Gravidade Global), já a avaliação funcional subjetiva, o atual estado da via é obtido de forma qualitativa, e para tal será obtido o VSA (Valor de Serventia Atual) do trecho analisado (DNIT, 2006).

A avaliação estrutural por sua vez está relacionada à capacidade de carga do pavimento, estando diretamente vinculada ao seu projeto e dimensionamento, e para aferir as condições estruturais da via, sugere-se a realização de ensaios, que podem ser destrutivos, semidestruídos, ou não destrutivos (CNT, 2017 p. 62).

Neste contexto, se torna indispensável a busca por soluções que melhorem a condição funcional e estrutural dos pavimentos brasileiros, conferindo indicadores de conforto, segurança e economia aceitáveis, aumentando assim a eficiência do modal, dessa forma, para fazer as devidas correções é necessário realizar uma série de estudos e ensaios, que contemplem além das avaliações funcionais e estruturais, informações acerca da caracterização geotécnica, das condições ambientais da região e da realização de um estudo de tráfego, a fim de que seja possível definir a intervenção mais correta e econômica a ser feita, amenizando os defeitos que surgem nos pavimentos, tornando-se indispensável fazer avaliações funcionais e/ou estruturais para determinar a real condição da via.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Avaliar funcionalmente um trecho de pavimento flexível na rodovia estadual PB-293 e analisar comparativamente, por meio da literatura, os métodos de obtenção de deflexão a fim de definir o mais viável para se fazer uma avaliação estrutural futura.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Identificar e realizar o levantamento visual dos defeitos do pavimento flexível, presentes no trecho, obtendo suas frequências relativas e absolutas;
- ✓ Avaliar a condição da camada de rolamento, por meio do Valor de Serventia Atual (VSA), e cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG);
- ✓ Analisar, por meio da literatura, os métodos não destrutivos de obtenção das deflexões, a fim de determinar o mais viável para realizar uma futura avaliação estrutural no trecho;
- ✓ Fornecer soluções para que o pavimento volte a apresentar níveis de desempenho (conforto, segurança e economia) aceitáveis.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. PAVIMENTO

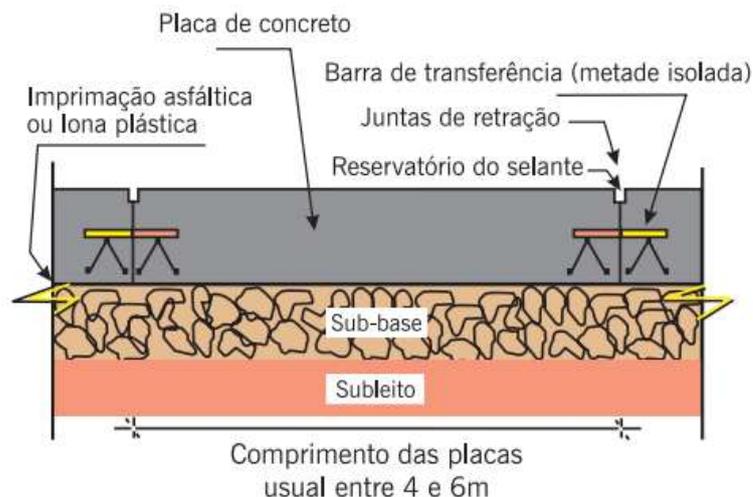
Segundo BERNUCCI et al. (2008 p. 9), o “pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança”.

Para a maioria dos autores, os pavimentos são classificados basicamente em três tipos: rígidos, semirrígidos e flexíveis, diferenciando-se entre si pelos materiais empregados, e pela forma de distribuição dos esforços e deformações provenientes do tráfego.

##### 3.1.1. Pavimentos rígidos

De acordo com BERNUCCI et al. (2008), os pavimentos rígidos são aqueles em que o revestimento é constituído por placas de concreto de cimento Portland, armadas ou não com barras de aço, com espessura fixada em função da resistência à flexão das placas de concreto e das resistências das camadas subjacentes. A Figura 1 ilustra o esquema de camadas estruturais desse tipo de pavimento.

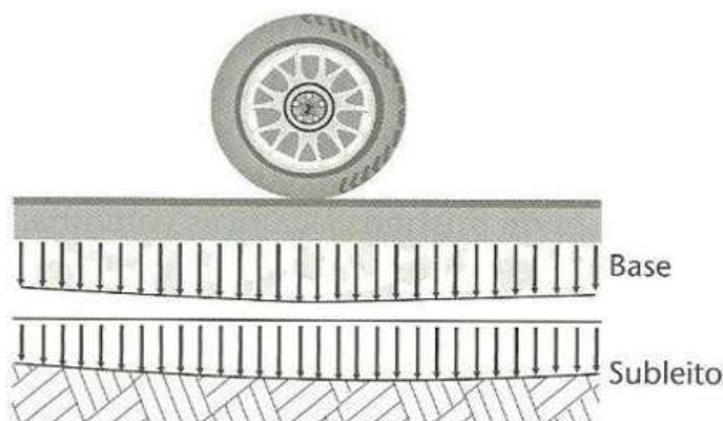
**Figura 1** – Camadas estruturais de pavimentos rígidos.



Fonte: BERNUCCI et al., 2008 p. 11.

Para BALBO (2007), essas placas de concreto de cimento Portland são assentadas sobre o solo de fundação ou uma sub-base, no qual desempenham as funções de revestimento e base, e a resposta mecânica desse tipo de pavimento dar-se-á conforme ilustra a Figura 2.

**Figura 2** – Resposta mecânica dos pavimentos rígidos.



Fonte: BALBO, 2007.

ARAÚJO (2016 p. 7) ressalta que a camada de revestimento possui uma rigidez superior às camadas inferiores, absorvendo praticamente todas as tensões provenientes das tensões e deformações da placa, apresentando uma maior durabilidade quando comparado aos pavimentos flexíveis, resistindo às ações do tempo, sem precisar de manutenção, e com o tempo ele vai ganhando mais resistência.

### 3.1.2. Pavimentos semirrígidos

Segundo o DNIT (2003), pavimento semirrígido é constituído por revestimento asfáltico e camadas de base ou sub-base em material estabilizado com adição de cimento. O pavimento semirrígido é conhecido como pavimento do tipo direto quando a camada de revestimento asfáltico é executada sobre camada de base cimentada e do tipo indireto ou invertido quando a camada de revestimento é executada sobre camada de base granular e sub-base cimentada.

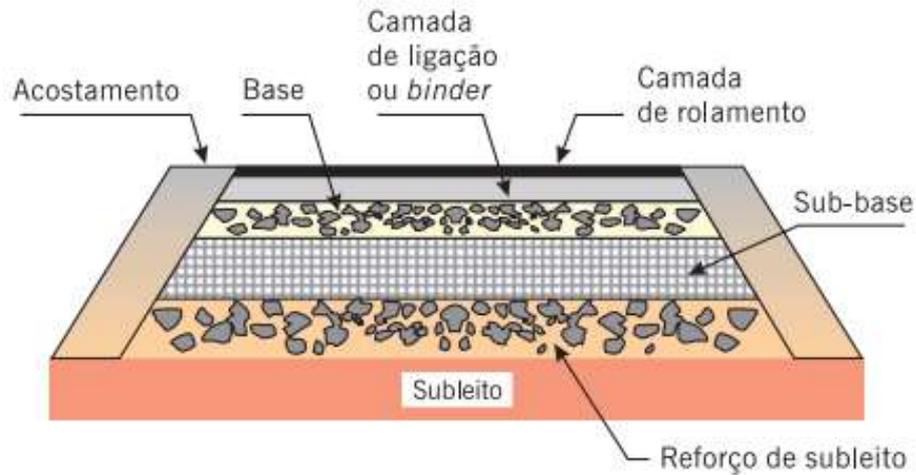
### 3.1.3. Pavimentos flexíveis

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), pavimento flexível é constituído por revestimento asfáltico sobre camada de base granular ou sobre camada de base de solo estabilizado granulometricamente.

Para BERNUCCI et al. (2008), os pavimentos flexíveis são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos, sendo formado por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito, como ilustra a Figura 3, sendo o revestimento asfáltico a camada superior

destinada a resistir diretamente às ações do tráfego e transmiti-las de forma atenuada às camadas inferiores, impermeabilizar o pavimento, além de melhorar as condições de rolamento (conforto e segurança), e pode ser composto por camada de rolamento única ou por camadas intermediárias denominadas de binder.

**Figura 3** – Camadas estruturais de pavimentos flexíveis.

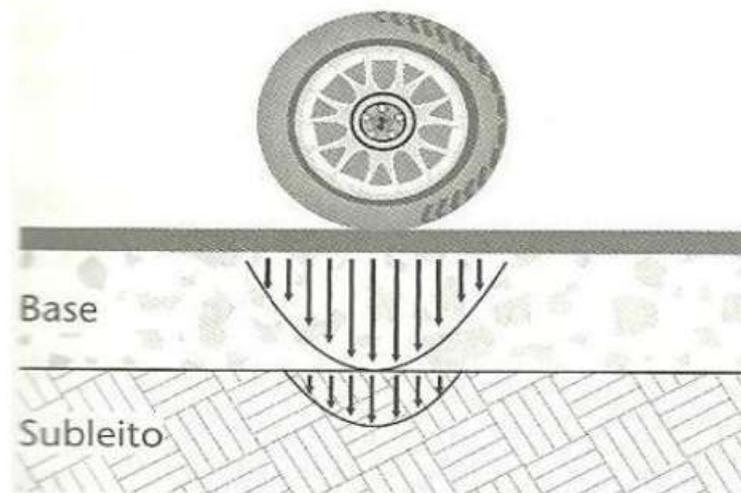


Fonte: BERNUCCI et al., 2008 p. 11.

As tensões e deformações induzidas na camada asfáltica pelas cargas do tráfego estão associadas ao trincamento por fadiga, ou por envelhecimento do ligante asfáltico, ação climática, etc., parte dos problemas relacionados à deformação permanente e outros defeitos pode ser atribuída ao revestimento asfáltico.

de acordo com o manual de pavimentação do DNIT (2006), nos pavimentos flexíveis, a distribuição da carga ocorre em parcelas aproximadamente iguais e com pressões concentradas, provocando deformação elástica em todas as camadas, como ilustra a Figura 4.

**Figura 4** – Resposta mecânica dos pavimentos flexíveis.



Fonte: BALBO, 2007.

## **3.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

A terminologia do DNIT 005/2003-TER define os termos técnicos empregados para os defeitos que ocorrem nos pavimentos flexíveis e semirrígidos, e serve para padronizar a linguagem adotada na elaboração das normas, manuais, projetos e textos.

Segundo a confederação nacional dos transportes (2017), a classe de defeito estrutural está associada à capacidade do pavimento em suportar a carga de pelo projeto, já a classe funcional está associada à qualidade de rolamento e segurança do pavimento. A seguir são apresentados os defeitos presentes nos pavimentos flexíveis e semirrígidos, bem como suas prováveis causas, sem considerar os efeitos do tráfego ao longo do tempo, e sem limitar as causas.

### **3.2.1. Fendas (FE)**

São quaisquer discontinuidades na superfície do pavimento podendo assumir a feição de fissuras, trincas isoladas longitudinais ou transversais e trincas interligadas tipo couro de jacaré ou em bloco (DNIT 005-TER, 2003 p. 2).

Sua causa se dá principalmente pela fadiga dos materiais utilizados nas camadas betuminosas, devido à tração por flexão dessas camadas de forma repetida com a passagem de carga dos veículos. Muitos estudos sobre a fadiga de pavimentos flexíveis têm sido inclusive realizados usando alguns softwares que, apesar de suas limitações, permitem definir vários parâmetros complexos, como as propriedades visco elásticas do asfalto e definir com maior precisão a detecção e possíveis causas das fendas (BESKOU, 2016; HASNI, 2017; SABOO, 2016; ZBICIAKA, 2016, Apud RIBEIRO, 2017).

#### **3.2.1.1. Fissura (FI)**

Fenda de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinalmente, transversalmente ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível à vista desarmada a distância inferiores a 1,5 m, com abertura inferior a 1 mm (DNIT 005-TER, 2003 p. 2).

São consequência da má dosagem do asfalto, excesso de finos (fíller ou material de enchimento) no revestimento, e compactação em momento inadequado ou excessiva, que ainda não causam problemas funcionais nem estruturais. (CNT, 2017 p. 83).

### 3.2.1.2. Trinca

Fenda existente no revestimento, facilmente visível à vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada.

### 3.2.1.3. Trincas isoladas

a) Trinca Transversal: Trinca isolada que apresenta direção predominantemente perpendicular ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 1 m é denominada trinca transversal curta (TTC). Quando a extensão for superior a 1 m, denomina-se trinca transversal longa (TTL) (DNIT 005-TER, 2003 p. 2).

Possui como causas principais a contração da capa asfáltica devido a baixas temperaturas de aplicação ou ao endurecimento do asfalto, e a propagação de trincas provenientes das camadas subjacentes ao revestimento, proporcionando danos funcionais (grandes trincamentos causam irregularidade) e estruturais (enfraquecem o revestimento do pavimento) (CNT, 2017 p. 83).

b) Trinca Longitudinal: Trinca isolada que apresenta direção predominantemente paralela ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 1 m é denominada trinca longitudinal curta (TLC). Quando a extensão for superior a 1 m, denomina-se trinca longitudinal longa (TLL) (DNIT 005-TER, 2003 p. 2).

Causadas pela má execução da junta longitudinal de separação entre as duas faixas de tráfego, recalque diferencial, contração de capa asfáltica devido a baixas temperaturas ou ao endurecimento do asfalto, e propagação de trincas nas camadas inferiores à do revestimento, ocasionando tanto prejuízos relacionados a classe funcional (grandes trincamentos causam irregularidade) quanto estrutural (enfraquecem o revestimento do pavimento) (CNT, 2017 p. 84).

### 3.3.1.4. Trincas interligadas

a) Trincas interligada tipo couro de jacaré (J): Conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. Estas trincas podem apresentar, ou não, erosão acentuada nas bordas (DNIT 005-TER, 2003 p. 2).

apresenta como prováveis causas, o colapso do revestimento asfáltico devido à repetição das ações do tráfego, subdimensionamento ou má qualidade da estrutura ou de uma das camadas do pavimento, baixa capacidade de suporte do solo, envelhecimento do pavimento (fim da vida), asfalto duro ou quebradiço, sendo esse um defeito da classe estrutural (CNT, 2017 p. 85).

b) Trincas em bloco (TB): Conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas (DNIT 005-TER, 2003 p. 2).

São consequência da contração da capa asfáltica devido à alternância entre altas e baixas temperaturas, baixa resistência à tração da mistura asfáltica, provocando danos funcionais (grandes trincamentos em bloco causam irregularidade) e estruturais (reduzem a integridade estrutural do pavimento) (CNT, 2017 p. 86).

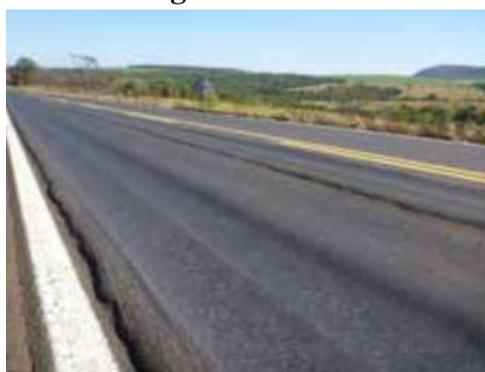
### **3.2.2. Afundamento**

Deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de pequena elevação do revestimento asfáltico, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação (DNIT 005-TER, 2003 p.2).

### **3.2.3. Afundamento plástico**

É causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de pequena elevação do revestimento asfáltico. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento plástico local (ALP). Quando a extensão for superior a 6 m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico da trilha de roda ou flecha na trilha de roda (ATP) (Figura 5) (DNIT 005-TER, 2003 p. 3).

**Figura 5 – ATP.**



**Fonte:** Adaptado de CNT, 2017 p. 87.

Apresenta como prováveis causas, falha na dosagem de mistura asfáltica, excesso de ligante asfáltico, falha na seleção de tipo de revestimento asfáltico para a carga solicitante, além da fluência plástica nas camadas do pavimento ou do subleito, caracterizando-se como um defeito funcional (CNT, 2017 p. 87).

#### **3.2.4. Afundamento de consolidação**

É causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de pequena elevação do revestimento asfáltico. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento de consolidação local (ALC) (Figura 6); quando a extensão for superior a 6 m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento de consolidação da trilha de roda ou flecha na trilha de roda (ATC) (Figura 7) (DNIT 005-TER, 2003 p. 3).

**Figura 6 – ALC.**



**Fonte:** BERNUCCI et al., 2008.

**Figura 7 – ATC.**



**Fonte:** Adaptado de CNT, 2017 p. 88.

Suas principais causas são, fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, densificação ou ruptura por cisalhamento de camadas subjacentes ao revestimento,

falha de compactação na construção, e problemas de drenagem, sendo um defeito de classe funcional (CNT, 2017 p. 88).

### **3.2.5. Corrugação ou ondulação (O)**

Deformação caracterizada por irregularidades longitudinais, com pequenos comprimentos de onda e amplitude irregular, acompanhadas ou não de escorregamentos, resultando em sensíveis vibrações para os veículos em movimento (Figura 8) (DNIT 005-TER, 2003 p. 3).

**Figura 8 – Ondulação.**



**Fonte:** Adaptado CNT, 2017 p. 89.

São advindas da falta de estabilidade da mistura asfáltica, excessiva umidade do solo subleito, contaminação da mistura asfáltica e falta de aeração das misturas líquidas de asfalto, sendo um defeito que ocasiona danos funcionais ao pavimento (CNT, 2017 p. 89).

### **3.2.6. Exsudação (E)**

Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento (DNIT 005-TER, 2003 p. 3). Suas principais causas são a excessiva quantidade de ligante, e o baixo índice de vazios, classificando-se como defeito funcional (CNT, 2017 p. 91).

### **3.2.7. Desgaste (D)**

Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego (DNIT 005-TER, 2003 p. 3).

Têm como prováveis causas, falhas de adesividade ligante-agregado, presença de água aprisionada e sobreposição em vazios da camada de revestimento, gerando deslocamento de ligante, deficiência no teor de ligante, e problemas executivos ou de projeto de misturas, interferindo na funcionalidade da via (CNT, 2017 p. 92).

### **3.2.8. Panela (P)**

Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas (DNIT 005-TER, 2003 p. 3).

São patologias advindas de trincas de fadiga, desintegração localizada na superfície do pavimento, deficiência na compactação, umidade excessiva em camadas de solo, e falha na imprimação, compreendendo-se entre os defeitos de classe funcional (CNT, 2017 p. 93).

### **3.2.9. Remendo (R)**

Panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de “tapa-buraco” (DNIT 005-TER, 2003 p. 3).

a) Remendo profundo: Aquele em que há substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento. Usualmente, apresenta forma retangular (DNIT 005-TER, 2003 p. 3).

b) Remendo superficial: Correção, em área localizada, da superfície do revestimento, pela aplicação de uma camada betuminosa (DNIT 005-TER, 2003 p. 3).

São causados principalmente pela carga de tráfego, emprego de material de má qualidade, e ação do meio ambiente, pertencendo tanto a classe funcional quanto estrutural de defeitos (CNT, 2017 p. 94).

## **3.3. AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

A instrução de projeto IP-003 (2006 p. 10) do DNIT, define avaliação funcional como sendo 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.

A determinação da condição de superfície de um pavimento asfáltico, bem como a análise dos tipos e causas de defeitos, é de grande importância para que sejam elaborados projetos adequados de conservação ou mesmo de recuperação das vias, de modo que os recursos financeiros empregados em serviços de manutenção de pavimentos sejam aplicados de forma criteriosa (VIEIRA et al., 2016 p.1).

Dessa forma, as infraestruturas rodoviárias em serviço, dado o aumento crescente das solicitações do tráfego, tanto em termos de peso por eixo como em termos de número de veículos, requerem medidas adequadas e planejamento adequado de ações de manutenção e reabilitação, devido à carga induzida pelo tráfego e aos fatores ambientais, podem ocorrer degradações graduais ao longo do tempo, causando problemas no desempenho e, além disso, uma redução na capacidade de carga do pavimento, e Por este motivo, são realizadas campanhas de avaliação para analisar a condição do pavimento (MANICO et al., 2018).

Segundo a CNT (2017 p. 62) existem duas técnicas para avaliação funcional do pavimento: avaliações subjetivas, são aquelas que permitem estabelecer o estado de degradação do pavimento a partir de conceitos qualitativos, e avaliações objetivas, que expressam a degradação do pavimento por meio de uma quantificação numérica e da distribuição de severidade dos defeitos apresentados.

Existem diversos procedimentos normatizados para o levantamento de parâmetros que avaliem a condição funcional de um pavimento. O DNIT tem diversas especificações para levantamentos de avaliação das condições funcionais, e cada tipo de projeto de restauração de pavimento existente pode exigir métodos diferentes para avaliação (FONSECA, 2013). Dentre as normas que regem a avaliação funcional, pode-se citar:

- ✓ DNIT 006/2003-PRO que trata do Índice de Gravidade Global (IGG);
- ✓ DNIT 007/2003-PRO que diz respeito da avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias para gerência de pavimentos;
- ✓ DNIT 008/2003-PRO que padroniza o levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos;
- ✓ DNIT 009/2003-PRO que obtém o valor da serventia atual (VSA).

Neste trabalho serão abordadas as normas DNIT 006/2003-PRO e DNIT 009/2003-PRO que servem como subsídio na tomada de decisões para recuperação de pavimentos.

### 3.3.1. Valor de serventia atual (VSA)

De acordo com a norma do DNIT (009/2003 – PRO), a avaliação realizada com base no valor de serventia atual (VSA) do pavimento indica o nível de conforto e suavidade ao rolamento proporcionado pelo mesmo.

O método de VSA, é um procedimento baseado na interpretação individual, de forma subjetiva, e feita por um grupo de avaliadores que percorrem o trecho sob análise, e vão inventariando suas opiniões sobre a competência do pavimento em atender as diretrizes do tráfego que sobre ele atua, no instante da avaliação (Barros e Carvalho, 2018).

Esse foi o primeiro método estabelecido de forma sistemática para avaliação funcional do pavimento, concebido por CAREY e IRICK, em 1960, para as pistas experimentais da AASHTO e consiste na atribuição numérica em uma escala que varia de 0 a 5, e é calculado pela média das notas dadas por, no mínimo, 5 avaliadores para o conforto e a suavidade no rolamento do pavimento em determinado trecho. A Tabela 1 relaciona a condição do pavimento com o valor de serventia atual.

**Tabela 1** – Condição do Pavimento em função do VSA.

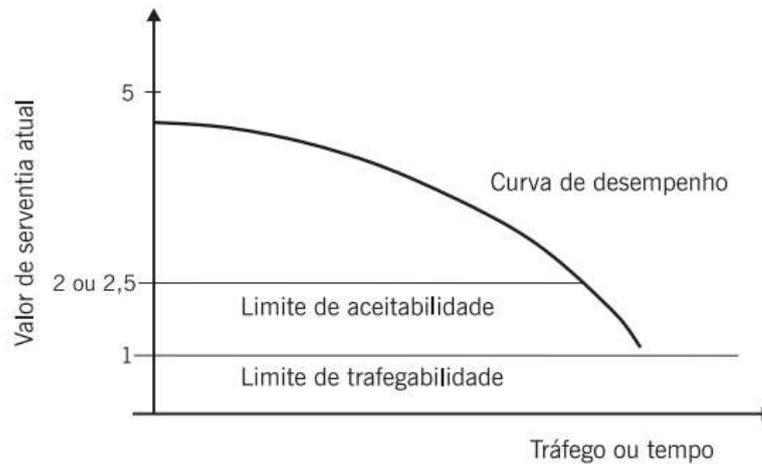
VSA	CONCEITO
5-4	ÓTIMO
4-3	BOM
3-2	REGULAR
2-1	RUIM
1-0	PÉSSIMO

Fonte: Adaptado de DNIT – PRO 009, 2003.

Geralmente o VSA é elevado logo após a construção do pavimento, quando bem executado, pois este exhibe uma superfície suave, praticamente sem irregularidades, porém esse valor diminui com o passar do tempo, principalmente por dois fatores: o tráfego, de forma que, todos os veículos (principalmente caminhões e ônibus) que passam pelo trecho são “registrados” na estrutura, uma vez que cada passagem de carga contribui incrementalmente para o estado de deterioração do pavimento, e as intempéries, em que o clima contribui para a aceleração da deterioração do pavimento, uma vez que a água da chuva pode provocar queda de capacidade de suporte e a estrutura, ao ser solicitada pelo tráfego sofre maiores deslocamentos, provocando maiores danos estruturais e de superfície, causando desconforto crescente aos usuários (BERNUCCI et al., 2008).

A forma da curva que relaciona o valor de serventia com tempo decorrido de utilização da via é mostrada esquematicamente na Figura 9 a seguir.

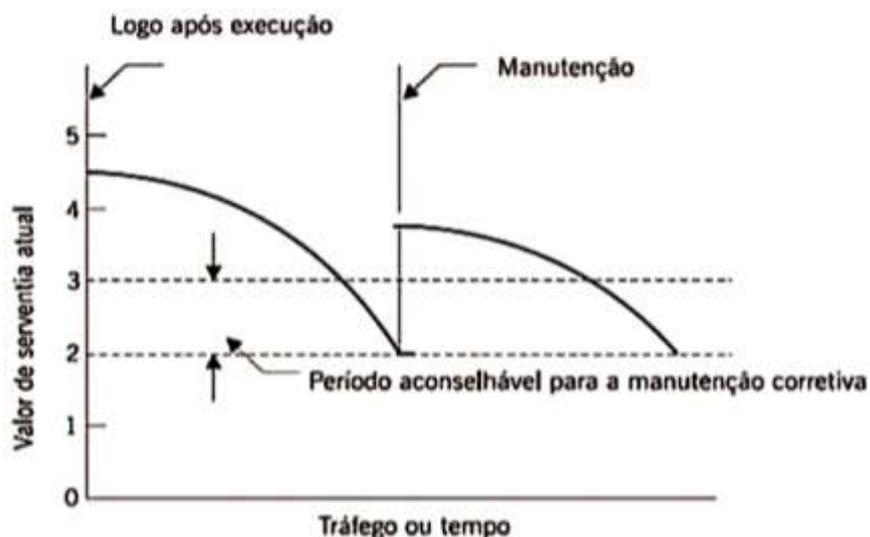
**Figura 9** – VSA em função do tráfego ou tempo de utilização da via.



**Fonte:** Adaptado de BERNUCCI et al., 2008 p. 405.

Na Figura 9 estão indicados os limites de aceitabilidade e trafegabilidade, e de acordo com o guia de dimensionamento da AASHTO, de 1960, o limite de aceitabilidade é definido como 2,5, para vias de alto volume de tráfego, e 2,0 para as demais, dessa forma, sempre que o VSA atingir esse patamar, deve ser realizada intervenção de manutenção corretiva de modo a repor o índice a um valor superior, e enquanto o VSA estiver acima do valor limite de aceitabilidade, deve-se realizar a manutenção preventiva periódica, em que na ausência de manutenção ou realização inadequada da mesma, o pavimento pode atingir o limite de trafegabilidade, situação em que se torna necessária sua reconstrução (CNT, 2017 p. 63). A Figura 10 ilustra o período recomendado para manutenção de pavimentos.

**Figura 10** – Período recomendado para manutenção de pavimentos.



**Fonte:** Adaptado de BERNUCCI et al., 2008 p. 406.

Realizada a intervenção de manutenção corretiva, o VSA aumenta, e seu novo valor pode ser menor, igual ou maior à serventia inicial do pavimento, dependendo do tipo de revestimento asfáltico, da espessura projetada e da qualidade executiva, e após a restauração do pavimento, a serventia volta a diminuir dependendo da estrutura original, do grau de deterioração em que se encontrava, e do tipo e espessura da camada de manutenção (BERNUCCI et al., 2008).

O DNIT PRO – 009 (2003) preconiza algumas condições para realização e validação da avaliação por meio do VSA, dentre elas,

- ✓ O grupo responsável pela determinação do Valor de Serventia Atual (VSA) deve ser constituído de pelo menos cinco membros perfeitamente conhecedores dos propósitos desta Norma;
- ✓ O trecho de pavimento deve ser avaliado como se fosse uma rodovia de tráfego intenso e constituído de veículos comerciais e de passageiros;
- ✓ O avaliador deve considerar somente o estado atual da superfície do pavimento, e avaliar o trecho como se o projeto geométrico fosse adequado para qualquer tipo de tráfego;
- ✓ Os avaliadores devem considerar principalmente os “buracos”, saliências, irregularidades transversais e longitudinais da superfície. Grandes depressões resultantes do recalque de aterros devem ser ignoradas;
- ✓ Na avaliação de uma série de trechos pavimentados, o avaliador não deve levar em conta os valores assinalados para os trechos anteriormente avaliados, devendo cada trecho ser avaliado independentemente;
- ✓ O avaliador não deve comentar nada de sua avaliação com outro avaliador, nem procurar o auxílio de ninguém sobre as condições de projeto de qualquer trecho;
- ✓ No preenchimento da ficha, o avaliador deve ter em mente os seguintes aspectos: “Como se portaria este trecho de pavimento, atendendo à finalidade para a qual foi construído, durante um período de 24 horas por dia, se ele estivesse localizado em uma rodovia principal?”; “Qual o conforto que este pavimento me proporcionaria se tivesse que utilizá-lo dirigindo um veículo durante 8 horas?”; “Como me sentiria dirigindo ao longo de 800 quilômetros sobre este pavimento?”;

- ✓ Os veículos utilizados na avaliação devem ser de passeio, do tipo médio-padrão dentre os fabricados no País, e devem ser usados, no mínimo, dois veículos do mesmo tipo para que os avaliadores possam ser distribuídos de dois a três em cada veículo.

A Figura 11 ilustra o modelo de ficha de avaliação a ser utilizado na obtenção do VSA.

**Figura 11** – Modelo de ficha de avaliação.

O modelo de ficha de avaliação para VSA (Valor de Serventia Atual) é composto por uma escala vertical de 0 a 5, com conceitos associados a cada nível. A escala é rotulada como 'VSA - Valor de Serventia Atual' e 'Conceito'. Abaixo da escala, há campos para 'Rodovia:', 'Observações:' e 'Nº do Avaliador:'.

5	ÓTIMO
4	BOM
3	REGULAR
2	RUIM
1	PÉSSIMO
0	

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

Observações: \_\_\_\_\_

Nº do Avaliador: \_\_\_\_\_

Fonte: Adaptado de DNIT PRO - 009 (2003 p. 5).

### 3.3.2. Índice de Gravidade Global (IGG)

O índice de gravidade global (IGG) caracteriza qualitativamente a situação em que se encontra certo trecho da estrada, avaliando de forma objetiva os defeitos da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos, mediante a contagem e classificação de ocorrências aparentes e da medida das deformações permanentes nas trilhas de roda (DER/SP, IP-003, 2006 p. 12). Seguindo esse procedimento, é possível obter os seguintes parâmetros:

- ✓ *fa*: frequência absoluta, que corresponde ao número de vezes em que as ocorrências ou defeitos são verificados;

- ✓ *fr*: frequência relativa, que é a relação entre a frequência absoluta, *fa*, e o número *n* de estações inventariadas, multiplicada por 100;
- ✓ IGI: índice de gravidade individual, que é o resultado da multiplicação da frequência relativa, *fr*, pelo fator de ponderação, *fp*, adotado para cada tipo de ocorrência;
- ✓ IGG: índice de gravidade global, que é o somatório dos índices de gravidade individuais para cada segmento definido como homogêneo.

A avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos é realizada por amostragem, visando à obtenção de cadastro mais apurado das ocorrências e frequências dos defeitos do tipo trincas FC – 1, FC – 2 e FC – 3, ondulações, escorregamentos, panela, remendo e desgaste, onde, no levantamento destes defeitos deve ser indicada a porcentagem de frequência para cada estação inventariada (DER/SP, IP-003, 2006 p. 11). A Figura 12, ilustra um modelo de inventário do estado da superfície do pavimento.

Feito o levantamento do estado da superfície da via, deve-se aplicar um fator de ponderação (Quadro 2), em função da gravidade dos defeitos observados, que, multiplicado pela porcentagem de seções com ocorrência de cada defeito, resulta no índice de gravidade individual, e o somatório dos índices de gravidade individuais obtidos para cada defeito é definido na norma como o Índice de Gravidade Global (BERNUCCI et al., 2008).

A avaliação deve ser procedida ao nível da superfície do pavimento, em todas as faixas de tráfego da pista de rolamento, com localização de cada estação a ser avaliada a cada 20 m, alternando a faixa de tráfego, de modo que, em uma mesma faixa de tráfego o espaçamento entre as estações inventariadas é de 40 m, esse critério vale, tanto para pista simples, como para pista dupla ou existência de faixas adicionais (BERNUCCI et al., 2008).



A delimitação deve ser feita pelas bordas da faixa de tráfego, com 3,0 m à frente e 3,0 m atrás de cada estação, que deve receber o número correspondente à estaca ou distância do marco quilométrico. Para analisar os defeitos presentes nos pavimentos se faz necessário classificá-los, tal classificação é definida pelo DNIT 005/2003-TER, e é ilustrada no Quadro 1.

**Quadro 1** – Resumo dos defeitos, codificação e classificação.

FENDAS				CÓDIGO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes 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	J	-	FC-2	-
			com erosão	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas isoladas	Devido a retração térmica da base ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas interligadas	“Bloco”	Sem erosão	TB	-	FC-2	-
			com erosão	TBE	-	-	FC-3
	<b>OUTROS DEFEITOS</b>						
afundamentos	Plástico	Local	Devido a fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito				ALP
		Da trilha	Devido a fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito				ATP
	De consolidação	Local	Devido a consolidação diferencial em camadas do pavimento ou subleito				ALC
		Da trilha	Devido a consolidação diferencial em camadas do pavimento ou subleito				ATC
<b>Ondulações:</b> Causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento							O
<b>Escorregamento</b> (do revestimento)							E
<b>Exsudação</b> (do ligante betuminoso)							EX
<b>Desgaste</b> acentuado na superfície do pavimento							D
<b>“painelas”</b> ou buracos decorrentes da degradação do revestimento							P
Remendos	Superficial						RS
	Profundo						RP
<p>NOTA 1: Classe das trincas isoladas</p> <p>FC-1: São trincas com abertura superior a das fissuras e menores que 1 mm.  FC-2: São trincas com abertura superior a 1 mm sem erosão na borda.  FC-3: São trincas com abertura superior a 1 mm com erosão na borda.</p> <p>NOTA 2: Classe das trincas interligadas</p> <p>As trincas são classificadas como FC-1 e FC-3 caso apresentem ou não erosão nas bordas.</p>							

Fonte: Adaptado de DNIT 005/2003-TER p. 4.

Como citado anteriormente, para obter o IGG é necessário utilizar fatores de ponderação referentes aos defeitos de acordo com o nível de gravidade dos mesmos, e estes são apresentados no Quadro 2.

**Quadro 2** – Fatores de ponderação.

Ocorrência Tipo	Codificação de ocorrência de acordo com a norma DNIT005/2002-TER	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, ALC e ATC	0,9
5	O, P, E	1,0
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

Fonte: Adaptado de DNIT PRO-006, 2003 p. 5.

Para os afundamentos de trilho de rodas, o DNIT PRO 006 (2003 p. 4) determina que devem ser calculados utilizando os seguintes parâmetros:

- ✓ Para as rodovias de pista simples, a média ( $\bar{x}$ ) e a variância ( $s^2$ ) das flechas medidas nas Trilha de Roda Interna (TRI) e Trilha de Roda Externa (TRE) de ambas as faixas de tráfego. No caso de “terceiras faixas”, estes parâmetros devem ser considerados separadamente;
- ✓ Para as rodovias de pista dupla, a média ( $\bar{x}$ ) e a variância ( $s^2$ ) das flechas medidas nas TRI e TRE das faixas de tráfego mais solicitadas de cada pista, separadamente.

As equações para o cálculo da média e da variância dos valores das flechas TRI e TRE são as seguintes:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

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

Onde:

$\bar{x}$  - Média aritmética dos valores das flechas medidas (TRI e TRE);

$x_i$  - Valores individuais das flechas medidas (TRI e TRE);

$n$  - Número de estações inventariadas;

$s$  - Desvio padrão dos valores das flechas medidas (TRI e TRE);

$s^2$  - Variância.

Para a média aritmética das médias das flechas e para a média aritmética das variâncias das flechas, o fator de ponderação a utilizar depende do valor das médias aritméticas, conforme o critério a seguir estabelecido:

- ✓ Para valores de média aritmética das medidas das flechas menor ou igual a 30, o fator de ponderação equivale a 4/3, acima de 30 o IGI é igual a 40.
- ✓ Para valores de média das variâncias das flechas menor ou igual a 50, o fator de ponderação é igual a 1, acima de 50 o IGI é igual a 50.

Outros parâmetros necessários para determinação do IGG, são a frequência absoluta ( $fa$ ), a frequência relativa ( $fr$ ) dos defeitos. A frequência relativa ( $fr$ ) de ocorrência de cada defeito é calculada pela equação 3, e depende da frequência absoluta correspondente ao número de vezes que o defeito se repetiu (DNIT 006/2003-PRO p. 4).

$$fr = \frac{fa \times 100}{n} \quad (3)$$

Onde:

$fr$  - Frequência Relativa;

$fa$  - Frequência Absoluta;

$n$  - Número de Estações Inventariadas.

Porém, é necessário obter primeiro o índice de gravidade individual (IGI), para cada defeito, pela equação 4.

$$IGI = fr * F_p \quad (4)$$

Onde:

$fr$  - Frequência Relativa;

$F_p$  - Fator de ponderação.

Por último, o valor do IGG pode ser obtido através do somatório dos índices de gravidade individuais, considerando o cálculo para cada trecho homogêneo. De posse deste valor é possível conceituar o grau de degradação do pavimento de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2** – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG.

LIMITES	CONCEITO
$0 < IGG \leq 20$	ÓTIMO
$20 < IGG \leq 40$	BOM
$40 < IGG \leq 80$	REGULAR
$80 < IGG \leq 160$	RUIM
$IGG > 160$	PÉSSIMO

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

### 3.4. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS

De acordo com a instrução de projeto (IP-003, 2006 p. 11) do DNIT, esse tipo de avaliação consiste na determinação da capacidade estrutural, que por sua vez é a capacidade do pavimento de manter sua integridade estrutural, e consiste na análise das medidas de deslocamentos verticais recuperáveis da superfície do pavimento quando submetido a determinado carregamento. Segundo BERNUCCI et al., (2008), a capacidade de suporte de carga da via é definida pelo na fase de dimensionamento e a solicitação estrutural, é proveniente da repetição de cargas e se manifesta através de deformações.

Estudos realizados na Califórnia, a partir do ano de 1938, determinaram uma série de medidas de deslocamentos verticais em pavimentos, quando estes estavam sujeitos à ação de uma carga de rodas, estes deslocamentos verticais foram denominados deflexão (ANDRADE et al., 2016 p. 2).

A evolução da análise dos ensaios deflectométricos pode ser dividida em três fases que serão aplicadas a depender do nível de exigência do projeto, na primeira fase se avalia a deflexão máxima do pavimento adotando-se métodos para determinação da vida remanescente

da estrutura a depender desse parâmetro, enquanto a segunda fase se desenvolveu a partir da observação de pavimentos com a mesma deflexão máxima e comportamentos distintos, e por isso adicionaram-se análises de indicadores de capacidade estrutural, como o Raio de Curvatura (RC), já na terceira fase, se avalia toda a bacia de deflexão, juntamente com a adoção de teorias que avaliam o comportamento dos pavimentos in situ (WITCZAK, 1989 Apud MACÊDO, 1996 p. 2).

Ao se deslocar no pavimento, o veículo provoca um estado de tensões variável, desenvolvendo dois tipos de deformação, plástica, quando parte da deformação total que é absorvida pelo pavimento não se recupera quando cessa a tensão aplicada, e elástica, quando parte da deformação total que se recupera quando cessa a tensão aplicada (CORRÊA E SANTOS, 2016).

A parcela das deformações que se recuperou de forma elástica foi chamada de resiliente, enquanto a outra, não recuperável, foi denominada plástica (HVEEM, 1955, Apud ANDRADE et al., 2016 p. 2). As deformações elásticas são responsáveis pela maior parte das trincas que surgem no pavimento, podendo levá-lo à ruptura por fadiga, enquanto as plásticas resultam em afundamentos localizados ou ao longo da trilha de roda (AGUIAR, 2017). O conhecimento das deflexões em campo proporcionou o desenvolvimento do ensaio triaxial de cargas repetidas e o cálculo do Módulo de Resiliência de acordo com os modelos que possuímos atualmente (ANDRADE et al., 2016 p. 2). Basicamente, a avaliação estrutural da via pode ser feita por métodos: destrutivo, semidestruutivo ou não destrutivo. A partir da determinação das bacias de deflexão, com a evolução das técnicas e dos equipamentos, se tornou possível obter parâmetros como módulo de resiliência e umidade dos materiais em campo através da retroanálise (BORGES, 2001).

#### **3.4.1. Método Destrutivo**

É aquele que investiga a condição estrutural de cada camada que compõe o pavimento por abertura de poços de sondagem, permitindo recolher amostras de cada material até o subleito e realizar ensaios de capacidade de carga (BERNUCCI et al., 2008). A Figura 13 mostra exemplos de extração de corpos de prova e de poços de sondagem em pavimentos em uso para avaliação das camadas.

**Figura 13** – Extração de corpos de prova e furos de sondagem.



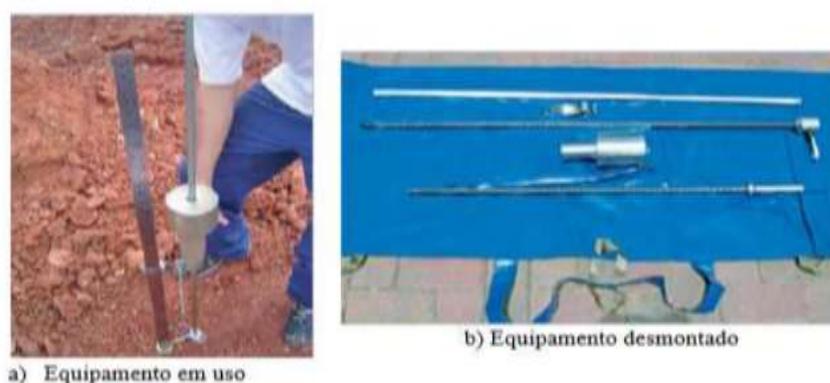
Fonte: BERNUCCI et al., 2008.

Com a extração de amostras do pavimento é possível identificar os tipos de materiais das camadas e subleito, as espessuras de camadas e fazer coleta de amostras para ensaios de laboratório. É possível determinar a massa específica e a umidade de cada camada para comparar com as condições de umidade ótima e massa específica dos ensaios de compactação, e assim, avaliar eventuais excessos de umidade ou deficiência de grau de compactação (SOUSA, 2017).

### 3.4.2. Método Semidestrutivo

É aquele que se vale de aberturas menores de janelas no pavimento que permitam utilizar um instrumento portátil de pequenas dimensões para avaliar a capacidade de carga de um pavimento, tal como o uso de cones dinâmicos de penetração – DCP (BERNUCCI et al., 2008). A Figura 14 mostra um exemplo dessa técnica de avaliação da capacidade de carga de subleitos e camadas de solo fino do pavimento.

**Figura 14** – Equipamento DCP.



Fonte: BERNUCCI et al., 2008.

O objetivo do DCP é caracterizar e medir a capacidade de suporte do solo na sua condição natural, tornando possível obter o índice de cone (IC), que permite a avaliação da capacidade de suporte de um terreno quando utilizados diagramas convenientes e também a determinação do CBR desse solo por intermédio do uso de correlações (TRICHÊS e CARDOSO, 2001 Apud BERTÃO, 2015).

### **3.4.3. Método Não Destrutivo**

Segundo BERNUCCI et al. (2008), é o método mais adequada para ser feito em grandes extensões de pistas e com possibilidade de inúmeras repetições no mesmo ponto, de forma a acompanhar a variação da capacidade de carga com o tempo, a partir das medidas das deformações recuperáveis.

A avaliação estrutural do pavimento é realizada através do levantamento deflectométrico, com o emprego de equipamentos que simulam, com boa aproximação, a carga no pavimento devido a ação do tráfego (BORGES, 2001). No Brasil, as metodologias do DNER PRO-10/79, DNER PRO-11/79, DNER PRO-269/94 adotam este procedimento.

O método consiste no registro da superfície e na realização de provas de cargas, onde são medidos os parâmetros de resposta da estrutura às cargas de roda em movimento, atuando dentro do regime elástico de deformação do pavimento, ou seja, o regime em que as deformações recuperáveis retornam ao estado inicial assim que cessa a aplicação de carga. O deslocamento vertical da superfície é o parâmetro de resposta cuja medida é mais simples e confiável, em comparação com tensões e deformações, razão pela qual, quase a totalidade de equipamentos para ensaios não destrutivos é composta de equipamentos do tipo medidores de deflexão (CARDOSO, 1955 Apud BERTÃO, 2015).

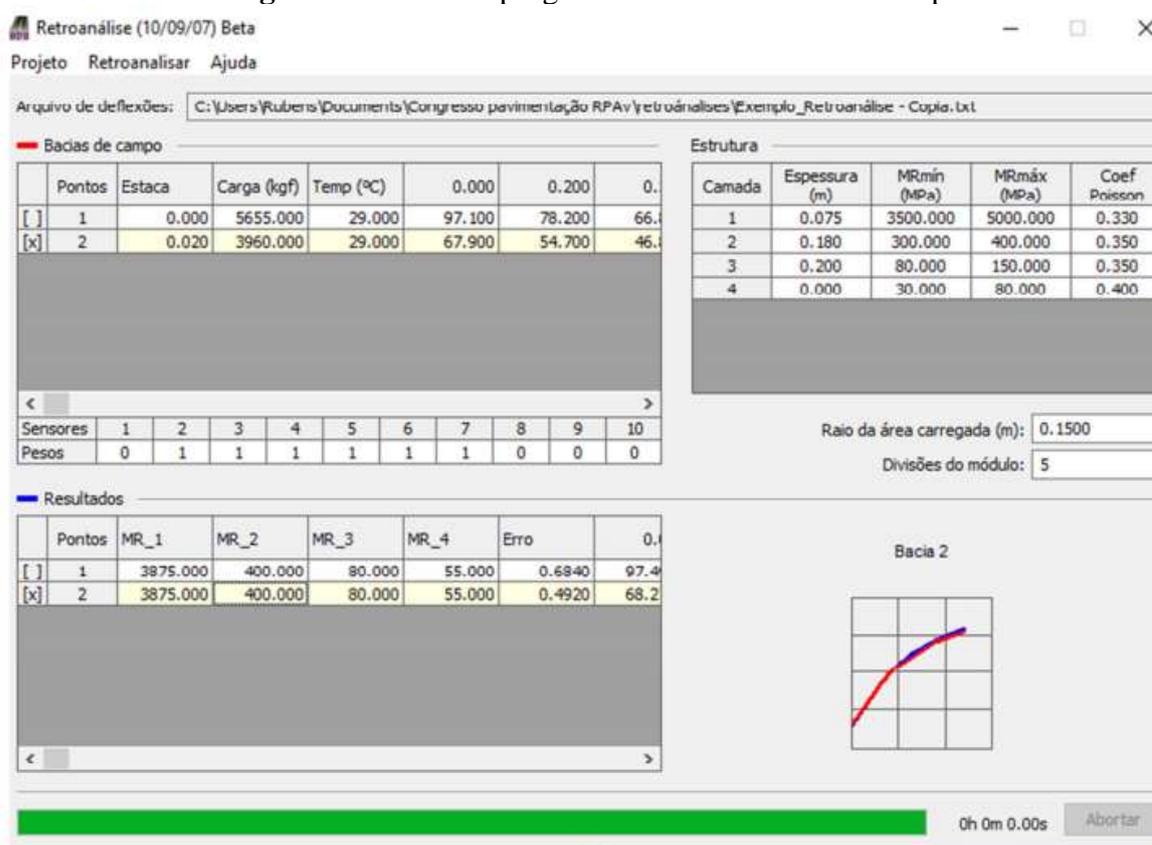
### **3.4.4. Retroanálise**

Com o desenvolvimento dos equipamentos deflectométricos e de programas computacionais foi possível, através da obtenção das bacias de deformação na superfície do pavimento, estimar os módulos resilientes por meio da retroanálise, utilizando algumas informações, tais como: a espessuras das camadas, sua posição na estrutura do pavimento e da deformada de superfície para a condição de solicitação imposta, obtendo os módulos de resiliência dos materiais em sua condição natural: estado de tensão, temperatura, umidade e densidade. As vantagens deste método, além de não haver necessidade de destruição da

estrutura do pavimento, é a rapidez e a praticidade do levantamento dos dados (BORGES, 2001 p. 10).

O programa é uma ferramenta de rotina do Sis pav, que é um sistema de gerenciamento de pavimentos, desenvolvido na tese de doutorado de Franco (2007), e permite retroanalisar bacias deflectométricas obtidas por FWD, inserindo as informações no programa por meio de um arquivo de dados em formato txt, contendo as características do pavimento, e das bacias de deflexões medidas (COSTA et al., 2017). A Figura 15 ilustra a tela do programa ao fim de uma retroanálise, a curva da bacia medida é representada graficamente em vermelho, e a curva da bacia calculada, em azul.

**Figura 15** – Tela do programa Retroanálise ao fim do processo.



Fonte: COSTA et al., 2017.

A avaliação estrutural com base nas medidas de deflexão do pavimento é função das variáveis do comportamento de cada uma das camadas do pavimento, função do método e do equipamento usado na medição, função da teoria aplicada na análise, função do tipo de pavimento em análise (MOMM e DOMINGUES, 1996).

Neste trabalho, devido a possibilidade de aplicação e repetição do ensaio em diversos pontos no segmento analisado, pela não necessidade de interrupção do tráfego local, e buscando maior produtividade, serão abordados métodos não destrutivos para avaliação estrutural de

pavimentos flexíveis e semirrígidos, por meio de revisão literária, dentre eles: Carga de Placa, Viga Benkelmam, Dynaflect, FWD (Falling Weight Deflectometer), e Deflectógrafo LaCroix.

### **3.4.5. Equipamentos de medição das deformações recuperáveis**

Para MOMM e DOMINGUES, 1996, os equipamentos que medem as deformações recuperáveis podem ser classificados em cinco categorias:

- ✓ Equipamentos estáticos: medem a deflexão do pavimento submetido a uma carga estática, ou que se movem a velocidade muito baixa. Exemplo: ensaio de carga de placa e a viga Benkelmam (sendo este último quase estático);
- ✓ Equipamento estático com carga dinâmica: produzem uma vibração senoidal no pavimento, que consiste na aplicação de uma carga estática na extensão do mesmo, sendo o caráter dinâmico obtido com a inferida, em que se mede a amplitude do pico da força dinâmica. Exemplo: Dynaflect;
- ✓ Equipamentos por impulso: abrangem uma força transiente ao pavimento por impacto causado pela queda de um grupo de massas a uma altura determinada sobre uma placa que transfere a força ao pavimento. Medem-se as deflexões máximas segundo um alinhamento que passa pelo centro da placa através de sensores. Exemplo: FWD (Falling Weight Deflectometer);
- ✓ Equipamento por método de propagação de onda: apuram a fase da velocidade de propagação da onda de tensões e deformações, por meio de vibradores eletrodinâmicos ou magnético restritivos, um amplificador, um gerador de frequência, um acelerômetro, um filtro estreito e um medidor de fase. Determinando-se os módulos complexos dinâmicos do pavimento;
- ✓ Equipamentos automáticos: respalda-se na automatização do processo da viga Benkelmam, e consiste em vigas de acionamentos e registros automáticos. Exemplo: deflectógrafo Lacroix.

De acordo com BORGES (2001 p. 10), os ensaios realizados com equipamentos deflectométricos apresentam uma série de aplicações, e os resultados obtidos nestes ensaios permitem a:

- ✓ Caracterização mecânica dos materiais in situ;
- ✓ Definição da capacidade estrutural do pavimento;
- ✓ Previsão da vida do pavimento com emprego de modelos de fadiga;
- ✓ Alimentação de Sistemas de Gerência de Pavimentos;
- ✓ Controle tecnológico para liberação dos serviços de pavimentação;
- ✓ Divisão dos trechos em segmentos homogêneos;
- ✓ Detecção de vazios sob as placas de concreto em pavimentos rígidos; e,
- ✓ Determinação da eficiência de transferência de carga nas juntas de placas de concreto.

Os aparelhos especialmente preparados para medição das deflexões vêm se desenvolvendo, pela necessidade de aumentar a produtividade, aumentar a acurácia, simular melhor as cargas, utilizar procedimentos mais simples de operação e interpretação dos dados, e reduzir os custos dos ensaios (BORGES, 2001 p. 11).

#### **3.4.6. Ensaio de carga de placa**

Neste tipo de ensaio, a carga estática de placa é aplicada por um macaco hidráulico, em um único ciclo, sobre placas rígidas apoiadas na superfície do pavimento, reagindo a uma armação estacionária, por natureza, esse ensaio é muito lento e trabalhoso, fazendo com que esse procedimento não seja muito utilizado em avaliações estruturais de pavimentos (MARQUES, 2002).

#### **3.4.7. Viga Benkelman (VB)**

Foi desenvolvida na década de 1950, na WASHO ROAD TEST, por A.C. Benkelman, e tem sido usada extensivamente desde então por órgãos rodoviários para trabalhos de pesquisa, avaliação, gerenciamento e projeto de reforço de pavimentos em todo o mundo (HAAS et. al., 1994 Apud NÓBREGA, 2003). Segundo o DNIT (Instrução de Projeto - IP-003, 2006), A avaliação estrutural pelo emprego da viga para a determinação dos deslocamentos recuperáveis

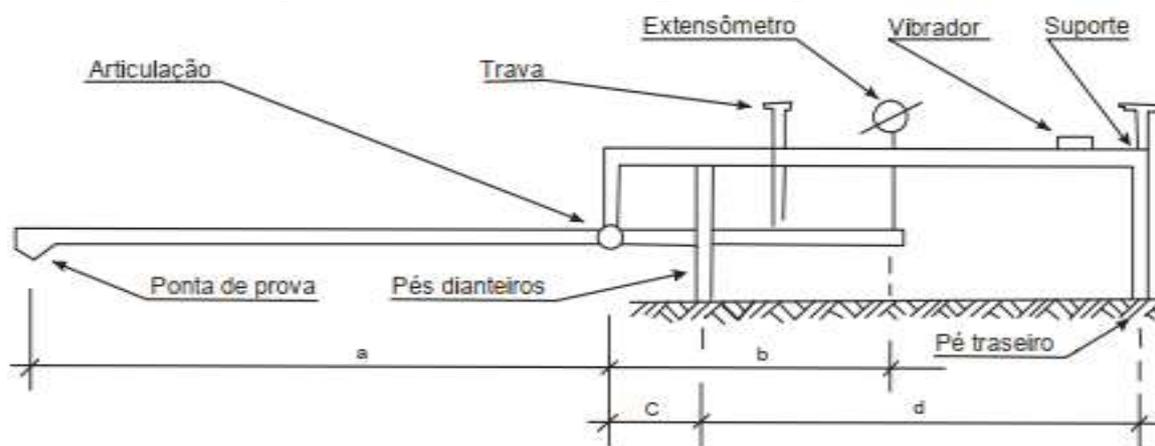
da superfície de pavimento, ou popularmente denominado deflexões, tem demonstrado que, de maneira geral, existe correlação entre a magnitude das deflexões e do raio de curvatura correspondente e o aparecimento de falhas nos pavimentos flexíveis.

Deve-se, portanto, realizar determinações dos deslocamentos recuperáveis da superfície de pavimento sob o ponto de aplicação da carga e, também, à distância de 0,25 m em relação ao centro da carga a fim de calcular o raio de curvatura. É conveniente, entretanto, conhecer a bacia de deformação, ou seja, o delineamento da linha de influência longitudinal inerente à parcela transitória de deformação ocasionada pela carga de prova aplicada à superfície do pavimento (NETO, 2017).

A determinação das deflexões com o uso da viga Benkelman deve ser realizada conforme DNER-ME 024/94, cuja calibração deve seguir o determinado na norma DNER-PRO 175/94, e a bacia de deformação deve ser levantada de acordo com as recomendações do DNER-ME 133/2010.

Durante os levantamentos no trecho de avaliação, deve ser anotada a temperatura do revestimento asfáltico com termômetro de precisão de 0,5°C, registrando também a ocorrência ou não de precipitação pluviométrica durante os levantamentos e nos últimos dias da semana anterior ao levantamento, estimando sua intensidade. Estes dados são importantes para posterior correção dos valores deflectométricos. A Figura 16 ilustra o esquema de uma Viga Benkelman.

**Figura 16** – Esquema de montagem da Viga Benkelman.



- (a) - Distância entre a articulação e a ponta de prova
- (b) - Distância entre o extensômetro e a articulação
- (c) - Distância entre a articulação e os pés dianteiros
- (d) - Distância entre os pés dianteiros e o pé traseiro

Nota: A distância "a" deve ser  $\geq 244$  cm.

Fonte: DNIT 133/2010 – ME, 2010.

Os pontos do pavimento em que devem ser medidas as deflexões devem ser convenientemente marcados e estarem localizados a uma distância prefixada da borda do revestimento, de acordo com a Tabela 3.

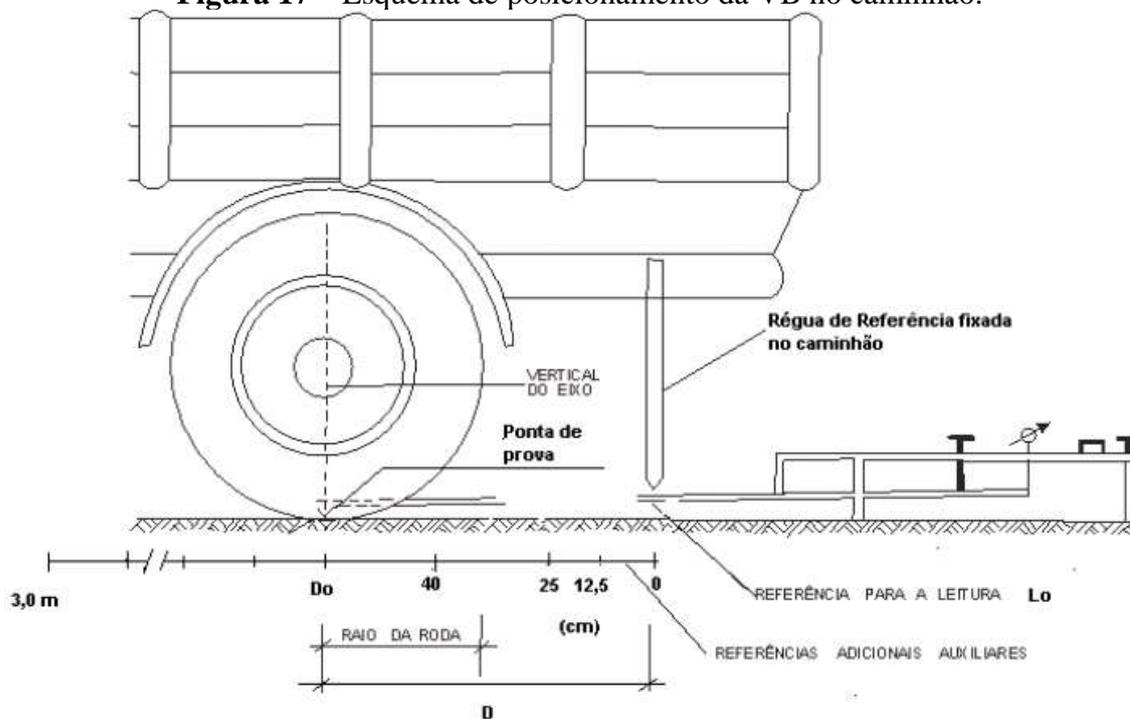
**Tabela 3** – Distância de aplicação da VB em relação a borda do revestimento.

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.

No posicionamento da VB deve-se assegurar a perfeita localização da ponta de prova da viga na vertical do eixo traseiro, por meio de um sistema de referência fixado no caminhão, em conformidade com a Figura 17.

**Figura 17** – Esquema de posicionamento da VB no caminhão.



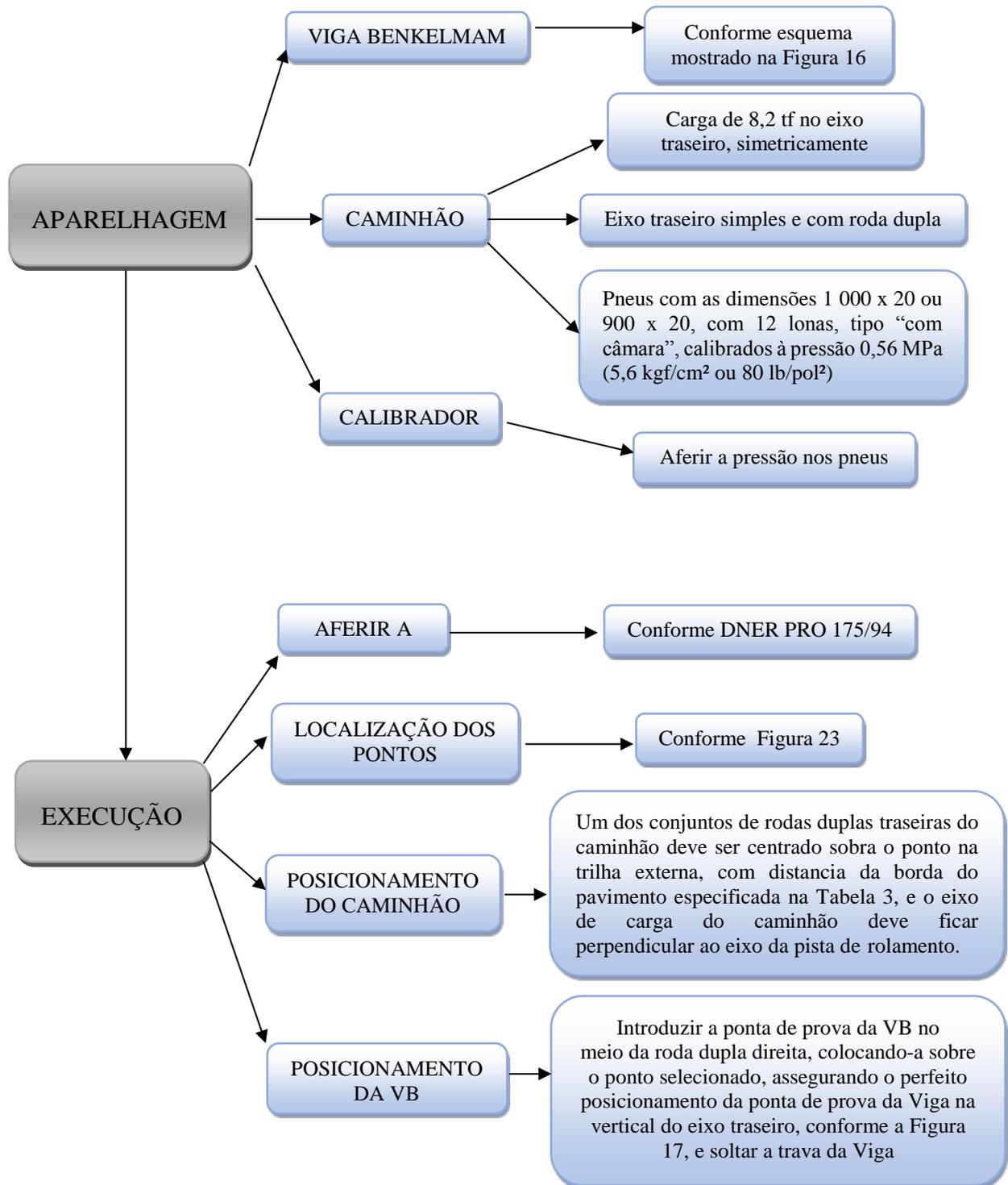
ONDE:

**D** = Distância marcada no braço maior da Viga Benkelman, de modo que a ponta de prova fique na vertical do eixo quando a régua de referência está em cima da marca

Fonte: DNER-ME 024/94.

O Fluxograma 1 a seguir apresenta os procedimentos para realização do ensaio com VB.

**Fluxograma 1 – Metodologia de ensaio com VB.**



**Fonte:** Adaptado do DNER-ME 024/94.

Devido ao seu baixo custo de aquisição e pelo fato de ser referência em diversos métodos de dimensionamento e sistemas gerência, o uso da viga ainda é grande no meio rodoviário. Entretanto, sua aplicação vem sendo substituída por aparelhos mais modernos, de maior precisão e produtividade, vale salientar que já estão em uso no Brasil Vigas equipadas com extensômetros digitais, que transmitem as medidas de deflexão para um microcomputador, diminuindo erros de leitura e aumentando a produtividade do ensaio (MARQUES, 2002).

#### **3.4.8. Dynaflect**

De acordo com RODRIGUES (2018) esse foi o primeiro aparelho disponível comercialmente a utilizar o modo dinâmico de carregamento, e o mais utilizado nos Estados Unidos após a viga Benkelman. É um equipamento que aplica ao pavimento uma carga dinâmica (vibratória) constante e igual a 4450N (454kgf), com frequência de 8Hz. O equipamento é montado em um veículo do tipo reboque, que conduz dispositivos para aplicação da carga no pavimento e para a determinação da deformação vertical reversível produzida.

A carga é aplicada por meio de duas rodas de aço, revestidas de borracha, distantes de 50,8 cm entre si, localizadas junto ao eixo das rodas de locomoção do veículo, tendo o mesmo eixo de simetria destas últimas. As deformações verticais produzidas pelo carregamento aplicado são registradas mediante informações de 5 geofones instalados em uma barra perpendicular ao eixo do veículo. Um deles é instalado no eixo das rodas de aplicação da carga e outros 4 dispositivos a cada 0,30m, na mesma direção, a partir daquele geofone (RODRIGUES, 2018).

A barra de içamento permite a instalação dos geofones com outras distâncias entre eles, conforme as necessidades do ensaio. O método de ensaio está normatizado no Brasil pelo DNER-ME 39/94. Smith e Lytton (1985) Apud RODRIGUES (2018), citam as principais limitações técnicas deste equipamento:

- ✓ Necessidade de aplicação de pré-carregamento estático em cada estação de ensaio, com valor superior a duas vezes o valor da carga que será utilizada no ensaio;
- ✓ Baixa magnitude de carregamento aplicada no pavimento;
- ✓ Não permite a variação da frequência nem do carregamento aplicado ao pavimento; e

- ✓ Não pode ser registrada a deflexão diretamente sob o ponto de aplicação da carga.

A Figura 18 apresenta uma ilustração do Dynaflect.

**Figura 18** – Equipamento Dynaflect.



Fonte: Adaptado de HAAS et al. (1994) Apud RODRIGUES, 2018.

### 3.4.9. Falling Weight Deflectometer (FWD)

Todos os equipamentos que transferem carga dinâmica de impacto ao pavimento são chamados de FWD, e devido a sua grande produtividade e alta precisão tem obtido grande satisfação nas avaliações estruturais para a medição de deflexões, pois permite a determinação por dados automáticos obtidos das deformadas completas (Borges (2001) Apud VARGAS, 2019).

O equipamento foi projetado para que o impacto da carga simule o efeito causado pela passagem de uma carga de roda a velocidade entre 70 e 80 km/h, os deslocamentos produzidos pelo impacto são medidos por sensores que se encontram na barra metálica e na placa circular. Alguns sensores são colocados ao longo da barra metálica espaçados geralmente de 0, 20, 30, 45, 60, 90 e 150 cm totalizando sete sensores com capacidade de medir deslocamentos de até 2,0 mm (ZANETTI, 2008). A Figura 19 mostra o equipamento FWD.

**Figura 19** – FWD.



Fonte: <http://dynatest.com.br>, 2020.

O DNER criou a normatização do levantamento pelo FWD com o DNER-PRO 273/96 e a tendência de que os equipamentos FWD sejam generalizados num futuro breve, pois a Viga Benkelman, por mais difundida no mercado, tem certas limitações (VARGAS, 2019).

O procedimento de ensaio é feito geralmente seguindo o seguinte roteiro (MEDINA et al., 1994 Apud BORGES, 2001 p. 25):

- ✓ Leva-se o trailer até a estação de ensaio e posiciona-se o FWD no ponto a ser avaliado;
- ✓ Liga-se o computador e o processador;
- ✓ Escolhe-se a configuração das massas a serem utilizadas fixando-as no local apropriado;
- ✓ Pelo programa de campo instalado no computador, define-se o tipo de ensaio a ser empregado e comanda-se todas as operações de ensaios: abaixamento da placa de carga e da barra de geofones, elevação dos pesos para altura de queda pré-determinada, liberação dos pesos para a queda e elevação da placa e sensores. Uma sequência de ensaio dura em média 45 segundos;
- ✓ A cada golpe aplicado são exibidos na tela, a altura de queda, o pico de pressão na placa, a força correspondente e os picos de deflexão registrados em cada sensor. Concluída a sequência de golpes, a placa e os sensores são suspensos hidráulicamente e um sinal sonoro é emitido pelo sistema indicando que o trailer pode ser deslocado para outra estação de ensaio.

No Brasil, atualmente, é crescente o uso do FWD para se medir deflexões, já que este apresenta maior acurácia e produtividade do que a viga. Outro fator que é relevante nas medições realizadas com a viga consiste em que os resultados frutos deste ensaio apresentam grande dispersão, que aumenta à medida que a distância radial dos pontos de leitura se afasta do ponto de aplicação da carga, o que acontece em menor intensidade nas medições realizadas com o FWD. Só são verdadeiramente confiáveis as deflexões máximas quando do uso da viga Benkelman (ROCHA FILHO e RODRIGUES, 1998 Apud NÓBREGA, 2003).

As deflexões máximas determinadas através da viga Benkelman e do FWD podem ser diferentes por apresentam diferentes configurações quanto à aplicação e geometria do carregamento, pois o carregamento da viga Benkelman é considerado estático, enquanto a aplicação do carregamento do FWD é de impacto, transmitindo um pulso de carga

similar ao de veículos a cerca de 70 km/h, e pelo fato do sistema de medição da viga Benkelman possui um grau de dispersão maior, incluindo dependência quanto ao operador (CAMPOS et. al., 1995 Apud NÓBREGA, 2003).

#### 3.4.10. Deflectógrafo Lacroix

Consiste em um veículo projetado para medir a deformação vertical (deflexão) em pavimentos flexíveis e semirrígidos de forma contínua e simultânea nas trilhas de rodas interna e externa, é amplamente utilizado para monitoramento de uma rede rodoviária e estudo da sua evolução de acordo com o tráfego, detecção de zonas defeituosas que necessitam de reforço, e controle de execução e eficácia de reforços (<http://www.vectra-esteio.com.br/lacroix>).

Segundo o DNIT 162/2012 – PRO, o caminhão deve possuir dois eixos, distanciados em 6,75 m, com tolerância de 10 cm para mais ou para menos, com roda dupla no eixo traseiro, e pneus 12 lonas (calibrados a 80 lb/pol<sup>2</sup>), carregado simetricamente com 8,2 tf, possuindo uma viga acoplada na parte inferior do chassi, mecanismo este composto por um dispositivo hidráulico sincronizado, em que à velocidade de operação do caminhão (cerca de 3,6 km/h), fazendo simultaneamente a medição das deflexões nas trilhas externa e interna. A deflexão é medida, no meio dos pneus do eixo traseiro, por dois braços munidos de sensores rotativos e articulados, os quais são os responsáveis pela leitura das deflexões através de impulsos eletromagnéticos e estão instalados na extremidade de uma viga de apoio. A Figura 20 apresenta o esquema de montagem do equipamento.

**Figura 20** – Esquema caminhão-deflectógrafo Lacroix.



**Fonte:** Adaptado de DNIT 162/2012 – PRO.

O conjunto de informações coletadas pelos sensores é transmitido por meio de cabos ópticos a uma central de computação no interior da cabine do veículo, que permite o acompanhamento em tempo real das medidas, fornecendo a deflexão máxima, raio de curvatura

da bacia, distância percorrida, temperatura do pavimento e o gráfico da bacia de deformação (DNIT 162/2012 – PRO). A Tabela 4 exemplifica os resultados gerados pelo deflectógrafo Lacroix.

**Tabela 4** – Exemplo de resultado obtido no deflectógrafo Lacroix.

Localização (m)	Deflexão		Raio de curvatura		Área sob a bacia de deformação		Temp.
	TRI (10 <sup>-2</sup> mm)	TER (10 <sup>-2</sup> mm)	TRE (m)	TRI (m)	TRE (mm <sup>2</sup> )	TRI (mm <sup>2</sup> )	Pav.
0,0	22	14	285	660	95	57	50
4,7	33	22	254	278	131	90	53
9,4	25	29	173	412	99	146	53
14,1	29	23	332	388	128	95	53
39,6	27	28	405	284	134	134	52

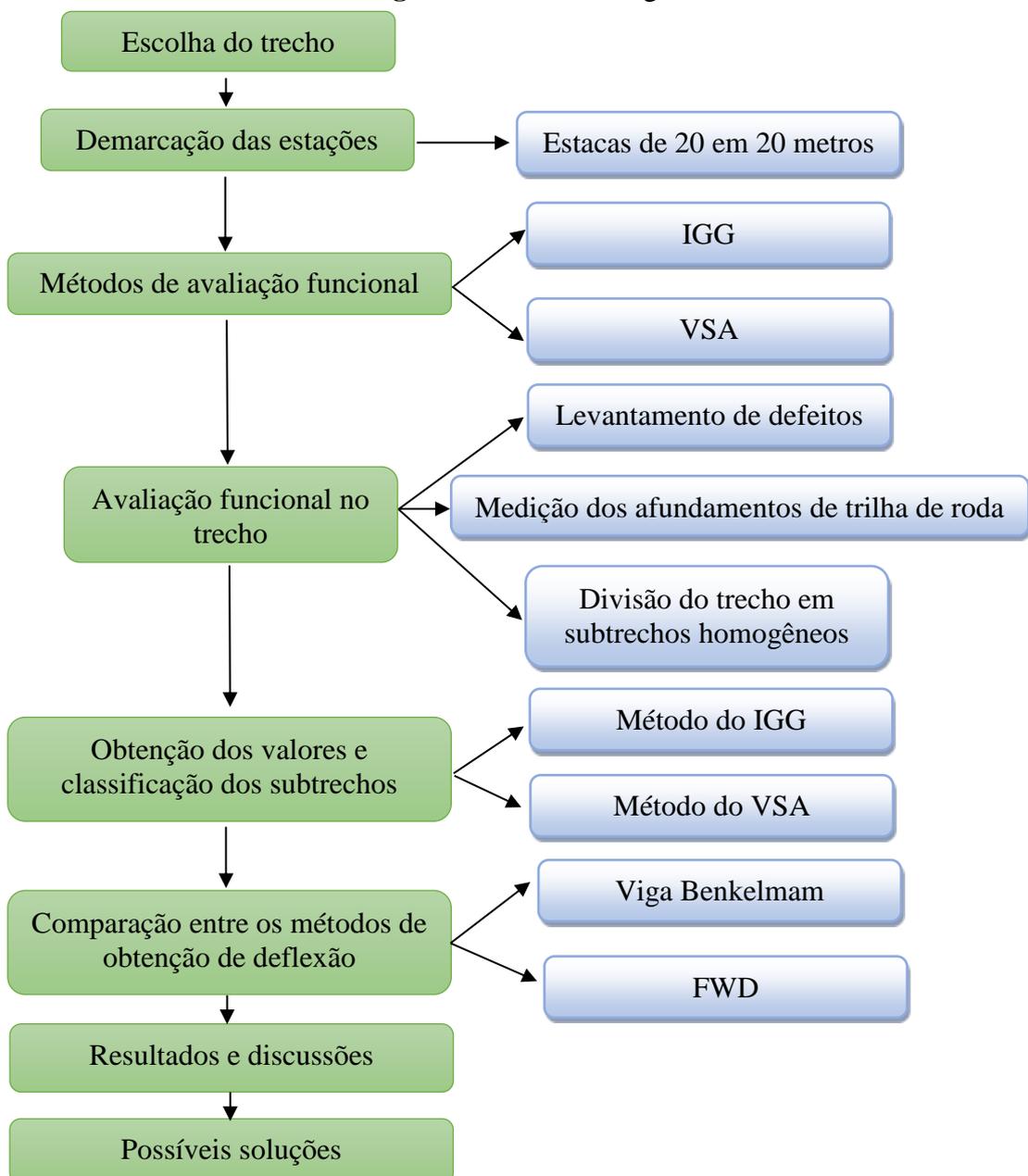
**Fonte:** Adaptado de DNIT 162/2012 – PRO.

O defletógrafo Lacroix existe há cerca de 40 anos e ainda não foi explorado de maneira mais ampla e sistemática no Brasil. O equipamento permite maior rendimento quanto ao número de medições e proporcionam maior acurácia aos resultados obtidos, da mesma ordem que o FWD. (MEDINA et. al., 1994 Apud NÓBREGA, 2003).

## 4. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido em duas etapas, a primeira de forma prática, realizando a avaliação funcional objetiva e subjetiva no trecho analisado, culminando na obtenção do estado atual da superfície da via, através do IGG e do VSA respectivamente. Na segunda etapa, fez-se uma revisão da literatura acerca dos métodos de obtenção de deflexão, analisando suas principais características, para que se possa chegar ao método mais viável para avaliar estruturalmente o segmento em questão. O Fluxograma 2 a seguir apresenta a metodologia de utilizada.

**Fluxograma 2 – Metodologia.**



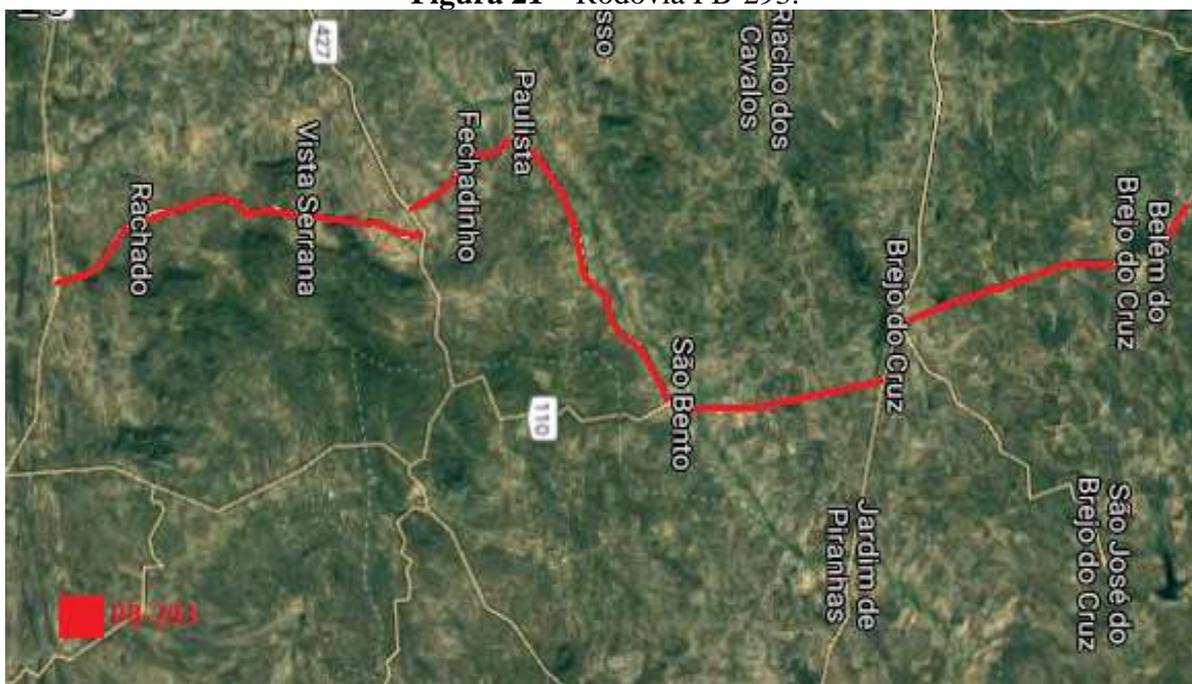
Fonte: Autor, 2020.

## 4.1. ESTUDO DE CASO

### 4.1.1. A rodovia PB-293

A rodovia escolhida para realização deste trabalho foi a PB-293 (Figura 21), localizada no sertão Paraibano, e liga as cidades de Malta, Vista Serrana, Paulista, São Bento, Brejo do Cruz e Belém do Brejo do Cruz. A via possui grande importância para o escoamento de tudo que se é produzido nessas cidades, interferindo diretamente na logística local, principalmente no que diz respeito ao transporte da produção têxtil da região, sendo a cidade de São Bento considerada a capital mundial das redes, bem como, dos produtos de limpeza e ração para alimentação animal produzidos na cidade Paulista, dentre outros diversos tipos de cargas que são transportadas pelo modal rodoviário.

**Figura 21 – Rodovia PB-293.**



**Fonte:** Adaptado de Google Maps, 2020 (disponível em: <https://maps.app.goo.gl/hvoysMjibD85GPRj7>).

A PB-293 é do tipo pista simples, ou seja, possui apenas uma faixa de rolamento para cada sentido de tráfego, e é classificada funcionalmente como uma rodovia arterial secundária (DER/PB, 2018). A Tabela 5 apresenta a via dividida em trechos, juntamente com sua extensão e situação atual acerca situação da camada de rolamento.

**Tabela 5** – Características da rodovia PB-293.

<b>CÓDIGO</b>	<b>TRECHO</b>	<b>EXTENSÃO</b>	<b>SITUAÇÃO</b>
001	Malta – Vista Serrana	21,3 (km)	Pavimentada
003	Vista Serrana – Entrada BR 427 (A)	9,4 (km)	Não Pavimentada
005	Entrada BR 427(A) - Entrada BR 427(B)	0,0 (km)	-
007	Entrada BR 427 (B) – Paulista	10,1 (km)	Pavimentada
009	Paulista – Entrada de São Bento	22,9 (km)	Pavimentada
011	São Bento – Entrada PB 323 (A)	15,7 (km)	Pavimentada
013	Entrada PB 323 (A) – Brejo do Cruz	3,1 (km)	Pavimentada
015	Brejo do Cruz – Belém do Brejo do Cruz	18,8 (km)	Pavimentada
017	Belém do Brejo do Cruz- Divisa PB/RN	5,4 (km)	Pavimentada
<b>EXTENSÃO TOTAL (km)</b>		<b>106,7</b>	

**Fonte:** Adaptado pelo autor, 2020 (Disponível em: <https://der.pb.gov.br/sistema-rodoviario/rodovias>).

É possível observar que apenas 9,4 km da rodovia em questão encontra-se na situação de leito natural, e o restante apresenta camada de revestimento, sendo o trecho de maior extensão compreendido entre as cidades de Paulista e São Bento. A Tabela 6 identifica o tipo de revestimento existente na camada do rolamento para cada trecho da PB-293.

**Tabela 6** – Trechos e tipos de revestimento da camada de rolamento da PB-293.

<b>TRECHO</b>	<b>CAMADA DE REVESTIMENTO</b>
Malta – Vista Serrana	TSD – Tratamento Superficial Duplo
Vista Serrana – Entrada BR 427 (A)	Sem Revestimento
Entrada BR 427 (B) – Paulista	TSD – Tratamento Superficial Duplo
Paulista – Entrada de São Bento	TSD – Tratamento Superficial Duplo
São Bento – Entrada PB 323 (A)	TSD – Tratamento Superficial Duplo
Entrada PB 323 (A) – Brejo do Cruz	TSD – Tratamento Superficial Duplo
Brejo do Cruz – Belém do Brejo do Cruz	TSD – Tratamento Superficial Duplo
Belém do Brejo do Cruz- Divisa PB/RN	TSD – Tratamento Superficial Duplo

**Fonte:** Adaptado de SIGA-DER/PB, 2020 (Disponível em: <http://159.203.110.236/cadastro/453/trecho/>).

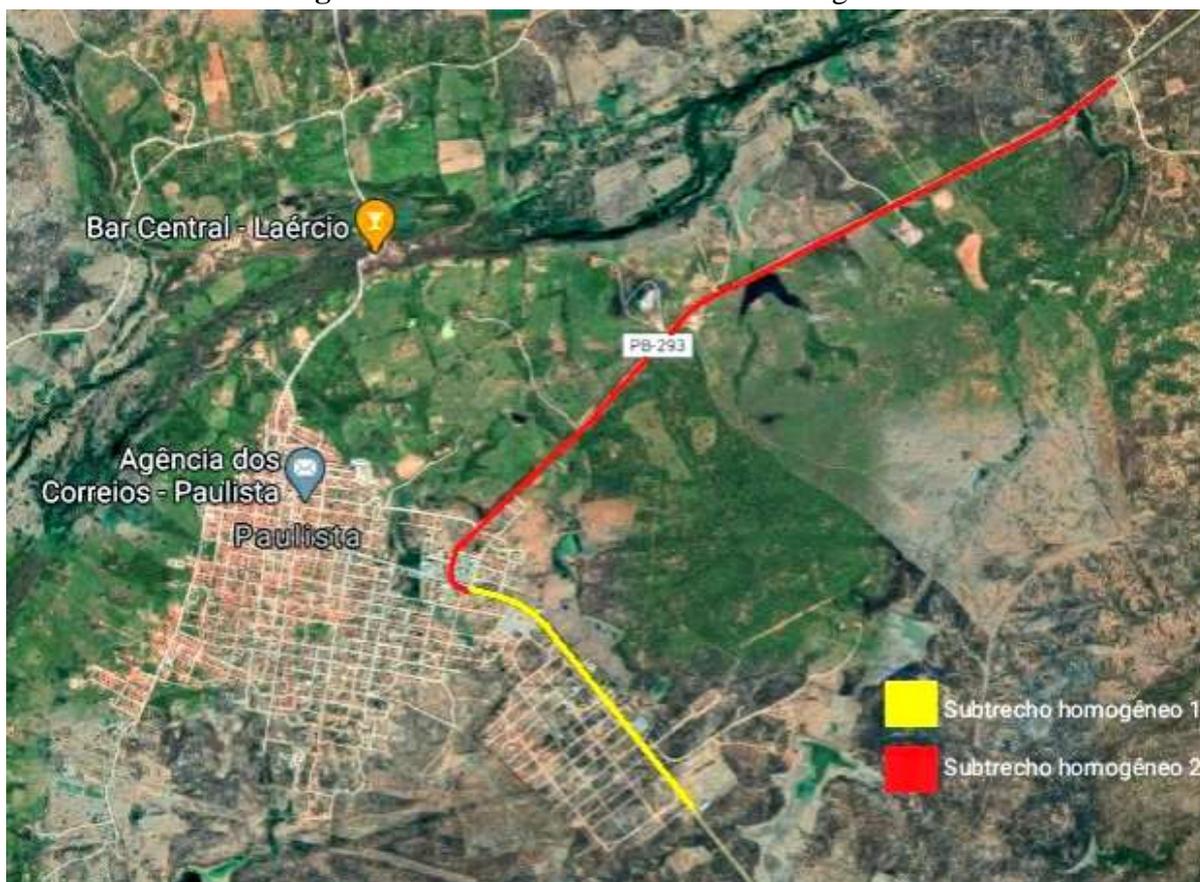
É notório que todos os trechos da rodovia possuem revestimento do tipo TSD (exceto no trecho não revestido), e nesse tipo de tratamento ocorre a presença de duas camadas de ligante e agregado intercaladas, havendo penetração invertida na primeira camada de agregado e invertida e direta na segunda. Há também uma diferença granulométrica entre as camadas de agregado, tendo a camada mais superficial uma granulometria menor afim de preencher melhor os vazios existentes na camada mais interna (BERNUCCI, 2008 Apud ARAÚJO, 2019).

#### 4.1.2. O trecho

A escolha do trecho se deu inicialmente devido ao estado de conservação da via, que vem causando não apenas prejuízos materiais, pelo aumento do consumo de combustível, alto custo com manutenção veicular, e/ou até mesmo por ociosidade, em que, caminhões trafegam

com carga abaixo de sua capacidade, mas também humanos, pelo elevado número de acidentes ocorridos na região, sendo a maioria deles devido a via não apresentar condições mínimas necessárias de segurança e conforto. Outro motivo para escolha do trecho é o fato de interligar São Bento – Paulista – BR 427, por onde ocorre o escoamento da maior parte da produção local. A Figura 22 apresenta o trecho analisado, bem como sua divisão em subtrechos homogêneos, por apresentarem graus de degradação da camada de rolamento distintos.

**Figura 22** – Divisão dos subtrechos homogêneos.



**Fonte:** Adaptado de Google Maps, 2020 (disponível em: <https://maps.app.goo.gl/hvoysMjibD85GPRj7>).

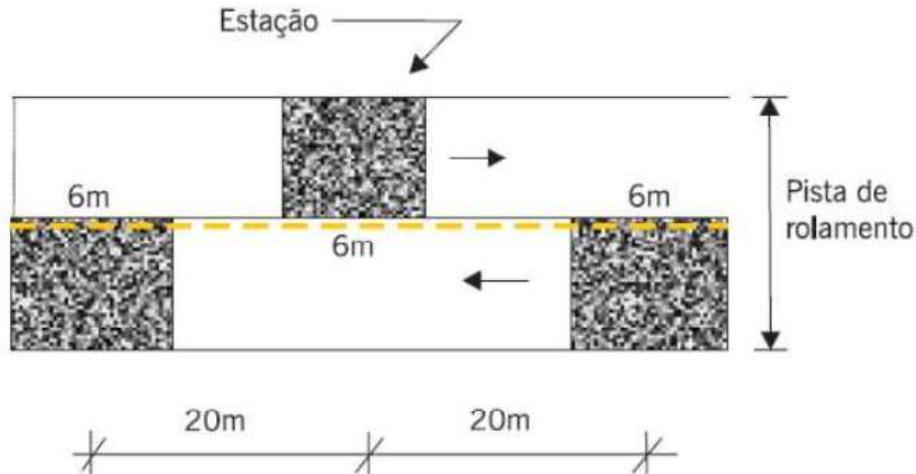
Vale ressaltar que o trecho total analisado é a soma dos segmentos homogêneos 1 e 2, destacados em amarelo e vermelho respectivamente.

#### 4.2. DEMARCAÇÃO DAS ESTAÇÕES

A marcação das estacas foi executada de 20 em 20 metros, com auxílio de trena, pincel e tinta, e a avaliação funcional realizada alternando-se as faixas de tráfego, ou seja, cada faixa foi avaliada a cada 40 metros, sendo a área da superfície de avaliação adotada pelo método compreendida 3 metros antes e 3 metros depois de cada estação, distribuída na largura total da

faixa de rolamento. A Figura 23 apresenta o esquema de marcação das estacas e da área de avaliação.

**Figura 23** – Esquema de marcação das estacoes e área de avaliação.



Fonte: BERNUCCI et al., 2008.

### 4.3. AVALIAÇÃO FUNCIONAL NO TRECHO

A avaliação funcional foi realizada de forma objetiva e subjetiva. A avaliação objetiva se deu pelo preenchimento do inventário de defeitos (Figura 12), na área de avaliação destacada na Figura 23, para cada estação do trecho avaliado, fazendo o levantamento de todas as manifestações patológicas existentes e medindo os afundamentos de trilha de roda interno e externa, com auxílio de uma treliça de alumínio normatizada, dotada de uma régua com precisão de milímetros, posicionada nos sulcos formados nas trilhas de rodas dos veículos. A contagem da ocorrência de cada defeito foi realizada através do software Excel, bem como o cálculo do IGG.

Já na avaliação subjetiva, o estado atual de conservação da via foi obtido a partir do VSA, porém, para realizar esse método se faz necessário utilizar a média das notas atribuídas ao trecho, por no mínimo 5 avaliadores, e diante da impossibilidade disto, neste trabalho utilizou-se a correlação para obtenção do VSA em função do IGG (RODRIGUES, 1998, apud SERAFINI e GONÇALVES, 2004), que é definida pela equação 5.

$$VSA = \frac{474,48 - (1,642 \times IGG)}{94,846 + IGG} \quad (5)$$

Onde:

*VSA* – Valor de Serventia Atual;

*IGG* – Índice de Gravidade Global.

#### 4.4. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

Os métodos destrutivos e semidestrutivos de obtenção das deformações recuperáveis, por natureza, só podem ser empregados em alguns poucos pontos selecionados como representativos de cada segmento avaliado, além do fato de demandar muito tempo e necessitar interromper o tráfego no local durante o processo (BERTÃO, 2015). Por esses motivos, serão analisados os métodos não destrutivos de medição das deflexões mais utilizados no Brasil.

Dessa forma, para definir o equipamento não destrutivo de medição das deformações recuperáveis mais viável de ser utilizado numa futura avaliação estrutural do trecho em questão, fez-se uma revisão da literatura, entre os principais métodos de obtenção de deflexão, buscando identificar suas características e peculiaridades, principalmente no que diz respeito a forma de como o carregamento é transmitido para pavimento, e da maneira de coleta e armazenagem dos dados obtidos em campo, enfatizando os dois equipamentos deflectométricos mais difundidos no Brasil.

Ao analisar os equipamentos medidores de deflexão, pode-se notar uma evolução nos métodos ao longo do tempo, principalmente na tentativa de simular o efeito dinâmico da passagem de um veículo na via, no aumento da produtividade e na redução a interferência da equipe aplicadora, porém, na hora de definir o método a ser utilizado deve-se levar em consideração diversos fatores, tais como: custo, disponibilidade dos equipamentos, acurácia desejada, comprimento do trecho, produtividade, grau de instrução da equipe aplicadora, entre outros.

A viga Benkelman vem sendo utilizada no Brasil desde 1960, e é considerada o equipamento de avaliação estrutural de uso mais difundido, tanto em território nacional quanto no mundo, entretanto, os equipamentos do tipo FWD, a partir da década de 1980, experimentaram um crescimento no seu uso devido à grande quantidade de informações que podem ser obtidas em uma única campanha e pela sua elevada produtividade (ALBERNAZ et al., 1995 Apud NÓBREGA, 2003).

Segundo NÓBREGA (2003) os dois equipamentos mais usados para avaliação estrutural não destrutiva em pavimentos flexíveis e semirrígidos no Brasil são, a viga Benkelman e o FWD, e por essa razão, os dois métodos serão analisados visando comparar suas vantagens e desvantagens, a fim de definir qual método de obtenção de deflexão mais viável para avaliar futuramente o trecho.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. AVALIAÇÃO FUNCIONAL

Realizados todos os procedimentos para avaliar funcionalmente o estado da superfície da via, o trecho foi dividido em dois subtrechos homogêneos que apresentam características distintas. O segmento homogêneo 1 está compreendido entre a entrada da BR-427 (B) e a cidade de Paulista, e os resultados obtidos para o segmento são apresentados na Tabela 7 a diante.

**Tabela 7** – Resultados obtidos para o subtrecho homogêneo 1.

RODOVIA: PB-293					FOLHA: 1	
TRECHO: ENTRADA BR-427 (B) – PAULISTA					ESTACA	ESTACA
OPERADOR: ANDERSON HENRIQUE TOMÉ DOS SANTOS					0	59
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA			FP	IGI
		ABSOLUTA	ABSOLUTA CONSIDERADA	RELATIVA (%)		
1	FC - 1 (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)	3	3	5	0.2	1.00
2	FC - 2 (J, TB)	3	3	5	0.5	2.50
3	FC - 3 (JE, TBE)	0	0	0	0.8	0.00
4	ALP, ATP, ALC, ATC	0	0	0	0.9	0.00
5	O, P, E	21	21	35	1	35.00
6	EX	0	0	0	0.5	0.00
7	D	28	28	46.67	0.3	14.00
8	R	18	18	30	0.6	18.00
9	Média aritmética das TRI e TER	TRI (mm)	TRE (mm)	FM (mm)	1 A (X)	2.06
		1.5	1.58	1.54	1 B ( )	
10	Média aritmética das variâncias	TRIV (mm)	TEIV (mm)	VM (mm)	2 A (X)	2.01
		1.58	2.45	2.01	2 B ( )	
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)			CONCEITO:	
		74.57			REGULAR	
60		VALOR DE SERVIENTIA ATUAL (VSA)			CONCEITO:	
		2.16			REGULAR	
1A) IGI = $F \times 4/3$ quando $F \leq 30$				2A) IGI = FV quando $FV \leq 50$		
1B) IGI = 40 quando $F > 30$				2B) IGI = 50 quando $FV > 50$		

Fonte: Autor, 2020.

É necessário frisar que o subtrecho homogêneo 1 passou por uma restauração no ano de 2017, onde foi aplicada uma camada de microrrevestimento, o que gerou uma melhora momentânea no trecho, porém fatores como, as solicitações do tráfego e a exposição a intempéries, causaram degradações ao segmento, que já apresenta ocorrência de diversas patologias.

Já o subtrecho homogêneo 2 está situado entre as cidades de Paulista e São Bento e os resultados da avaliação funcional realizada no segmento estão expostos na Tabela 8 a seguir.

**Tabela 8** – Resultados obtidos para o subtrecho homogêneo 2.

<b>RODOVIA: PB-293</b>					<b>FOLHA:</b>	<b>1</b>
<b>TRECHO: PAULISTA – SÃO BENTO</b>					<b>ESTACA</b>	<b>ESTACA</b>
<b>OPERADOR: ANDERSON HENRIQUE TOMÉ DOS SANTOS</b>					60	220
<b>ITEM</b>	<b>NATUREZA DO DEFEITO</b>	<b>FREQUÊNCIA</b>			<b>FP</b>	<b>IGI</b>
		<b>ABSOLUTA</b>	<b>ABSOLUTA CONSIDERADA</b>	<b>RELATIVA (%)</b>		
1	FC - 1 (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)	139	83	51.55	0.2	10.31
2	FC - 2 (J, TB)	18	14	8.70	0.5	4.35
3	FC - 3 (JE, TBE)	12	12	7.45	0.8	5.96
4	ALP, ATP, ALC, ATC	4	4	2.48	0.9	2.24
5	O, P, E	103	103	63.98	1	63.98
6	EX	5	5	3.11	0.5	1.55
7	D	158	158	98.14	0.3	29.44
8	R	135	135	83.85	0.6	50.31
9	Média aritmética das TRI e TER	TRI (mm)	TRE (mm)	FM (mm)	1 A (X)	2.59
		1.62	2.26	1.94	1 B ( )	
10	Média aritmética das variâncias	TRIV (mm)	TEIV (mm)	VM (mm)	2 A (X)	4.13
		3.66	4.61	4.13	2 B ( )	
<b>Nº TOTAL DE ESTAÇÕES</b>		<b>ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)</b>			<b>CONCEITO:</b>	
		<b>174.86</b>			<b>PÉSSIMO</b>	
<b>60</b>		<b>VALOR DE SERVIENTIA ATUAL (VSA)</b>			<b>CONCEITO:</b>	
		<b>0.81</b>			<b>PÉSSIMO</b>	
1A) IGI = $F \times 4/3$ quando $F \leq 30$				2A) IGI = FV quando $FV \leq 50$		
1B) IGI = 40 quando $F > 30$				2B) IGI = 50 quando $FV > 50$		

Fonte: Autor, 2020.

Para o cálculo do IGG e do VSA, presente nas Tabelas 7 e 8, foi realizado o levantamento de defeitos e medição das trilhas de roda internas e externas para os subtrechos homogêneos 1 e 2. O inventário de dados contendo a listagem das patologias presentes em cada uma das estações está apresentado nos apêndices A e B.

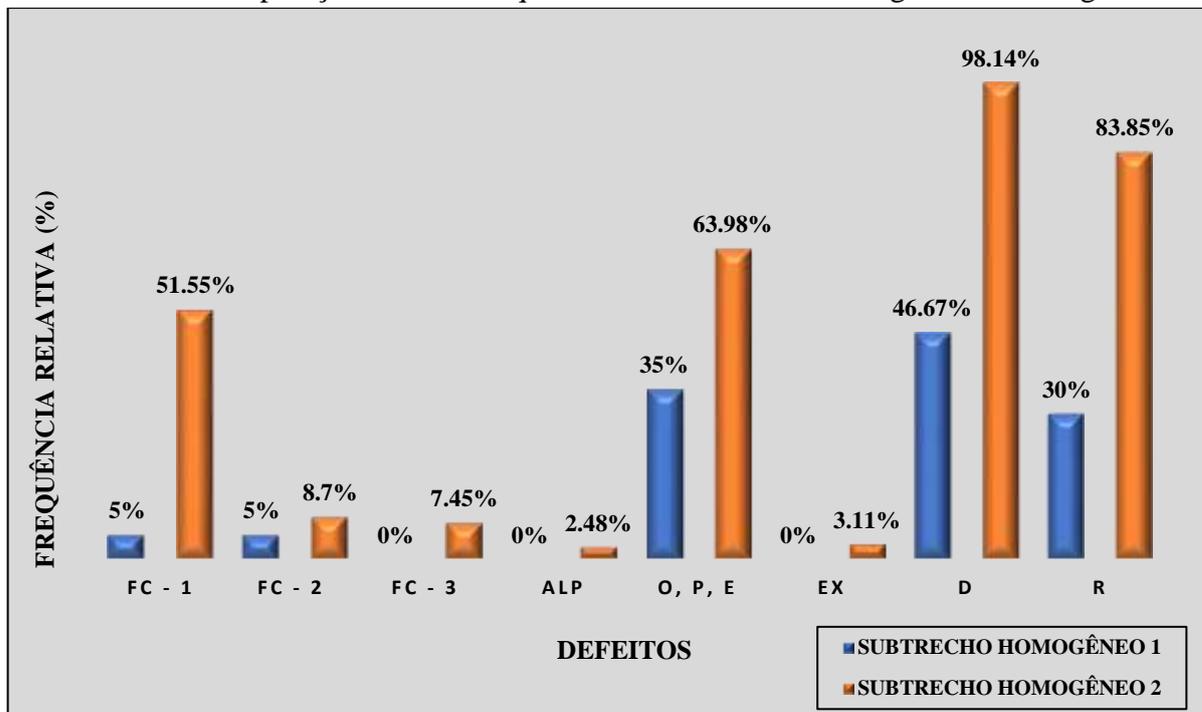
Após a investigação dos defeitos, fez-se a contagem dos mesmos, chegando à frequência absoluta de ocorrência de cada patologia observada, para então obter a frequência absoluta considerada. Vale ressaltar que na ocorrência de mais de um tipo de trinca FC – 1 na mesma estação, apenas a mais grave é considerada, bem como, na observação de trincas do tipo FC – 1 e FC – 2 na mesma estação, apenas a trinca do tipo FC – 2 é válida na contagem, e analogamente, na verificação de trincas do tipo FC – 2 e FC – 3, somente a trinca do tipo FC – 3 é contabilizada.

A frequência relativa de ocorrência das patologias é obtida pela equação 3, levando em conta a frequência absoluta considerada e o número total de estações observadas na avaliação. Multiplicando a frequência relativa pelo fator de ponderação (FP), obtêm-se o índice de gravidade individual (IGI) para cada patologia nos subtrechos homogêneos analisados.

De posse das medidas das trilhas de roda internas e externas, obteve-se as médias aritméticas e variância das mesmas, bem como, a flecha média (FM) e a variância média (VM), e como para ambos os trechos, a flecha média foi menor que 30 mm (caso 1A), o fator de ponderação é 4/3, da mesma forma, em ambos os segmentos a variância média é menor que 50 mm (caso 2A), portanto o IGI para ambos os subtrechos é a própria variância média. O somatório dos IGI's resulta no índice de gravidade global, e a partir desse parâmetro, pela correlação da equação 5, é possível calcular o VSA.

Os resultados obtidos para o segmento homogêneo 1 (IGG = 74.57 e VSA = 2.16) classificam o estado atual de degradação da superfície da via, de acordo com as Tabelas 1 e 2, em regular, para ambos os métodos, já no subtrecho 2 (IGG = 174.86 e VSA = 0.81) a situação é bem pior, apresentando o conceito de péssimo. Dessa forma, é possível observar que os trechos apresentam características distintas, e o Gráfico 1 a seguir apresenta uma comparação entre as frequências relativas de ocorrências dos defeitos observados nos dois segmentos homogêneos analisados.

**Gráfico 1** – Comparação entre as frequências relativas nos dois segmentos homogêneos.



Fonte: Autor, 2020.

Analisando o gráfico é possível verificar que o segmento 2 apresenta, em mais da metade das estações que o compõe, trincas do tipo FC – 1, enquanto no subtrecho 1, essa patologia ocorre em apenas 5% das estacas. Essa classe de defeito é a que possui maior divergência nos subtrechos estudados, e as Figura

s 24 á 28 expõem os exemplos das patologias identificadas durante a avaliação objetiva.

**Figura 24 – Fissuras.**



Fonte: Autor, 2020.

**Figura 25 – Trinca transversal curta.**



Fonte: Autor, 2020.

**Figura 26 – Trinca transversal longa.**



Fonte: Autor, 2020.

**Figura 27 – Trinca longitudinal curta.**



Fonte: Autor, 2020.

**Figura 28** – Trinca longitudinal longa.



**Fonte:** Autor, 2020.

Para as trincas do tipo FC – 2, os dois segmentos exibem comportamento semelhante, com baixos índices de ocorrência dessa classe de defeito, representada nas Figuras 29 e 30.

**Figura 29** – Trincas couro de jacaré.



**Fonte:** Autor, 2020.

**Figura 30** – Trincas em bloco.



**Fonte:** Autor, 2020.

As trincas do tipo FC – 3 são observadas apenas no subtrecho 2, com baixa incidência, e a Figura 31 traz um exemplar dessa categoria patológica.

**Figura 31** – Trinca couro de jacaré com erosão.



**Fonte:** Autor, 2020.

Com relação aos afundamentos, verificou-se apenas a presença de afundamentos plásticos locais, com frequência baixa e apenas no segmento homogêneo 2. Na classe de outros defeitos, composta por ondulações, escorregamentos e panelas, registrou-se a ocorrência apenas do último, com incidência nos dois subtrechos, possuindo maior intensidade no segundo, apresentando frequência relativa de quase 30% superior. É necessário frisar que a ocorrência elevada de panelas contribui muito para o aumento do IGG, e conseqüente redução do VSA, tendo em vista que possui um fator de ponderação unitário, e só essa patologia é responsável por um IGI de 35 no segmento homogêneo 1 e 63.98 no segmento homogêneo 2, porém, a situação poderia ser ainda pior, se a metodologia considerasse a múltipla ocorrência do defeito em uma única estaca, o que ocorreu repetidas vezes, como exemplifica a Figura 32.

**Figura 32** – Diversas panelas em uma mesma estação.



**Fonte:** Autor, 2020.

As exsudações são observadas apenas no segmento homogêneo 2, e com baixa frequência, a Figura 33 demonstra essa categoria de defeito.

**Figura 33** – Exsudação.



**Fonte:** Autor, 2020.

Quanto ao desgaste e aos remendos, estes ocorrem nos dois subtrechos, sendo no segundo com mais que o dobro da frequência relativa que no primeiro, as Figuras 34 e 35 representam respectivamente essas tipologias patológicas.

**Figura 34 – Desgaste.**

Fonte: Autor, 2020.

**Figura 35 – Diversos remendos.**

Fonte: Autor, 2020.

Apesar do fator de ponderação para as categorias de desgaste e remendo (0.3 e 0.6) não serem elevados, a intensidade considerável de ocorrência dessas patologias, assim como as panelas, causa aumento significativo no IGG, diminuindo o VSA. O desgaste foi identificado em 46.67% das estações do segmento homogêneo 1, e 98.14% do segmento homogêneo 2, sendo responsável por IGI's de 14 e 29.44 respectivamente. Já os remendos possuem incidência em 30% das estacas do primeiro subtrecho e de 83.85% do segundo, culminando em IGI's de 18 e 50.31.

Concluída a avaliação funcional, de posse dos resultados, e a partir análise das Figuras 9 e 10, para uma via que não possui alto volume de tráfego, e VSA pouco maior que 2, próximo do limite de aceitabilidade, verifica-se que a situação exige uma manutenção corretiva, e uma opção seria a aplicação de uma camada de microrrevestimento asfáltico a frio (MRAF).

O microrrevestimento asfáltico a frio é uma técnica introduzida no Brasil na década de 1990, aplicada na conservação preventiva e corretiva de rodovias e vias públicas cuja estrutura não esteja comprometida, promovendo o rejuvenescimento da camada de rolamento e melhorando as condições de aderência da interface pneu-pavimento, devolvendo ao pavimento conforto e segurança (CERATTI, 2011 Apud DÓRIA e VILVERT, 2018).

DÓRIA e VILVERT (2018) concluíram em seu estudo de caso que a técnica do Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF) utilizada para a recuperação funcional do pavimento da Rodovia SC-406, trecho que compreende o bairro Morro das Pedras até Pântano do Sul atendeu as expectativas, prolongando a vida útil do pavimento existente através do

aumento da aderência e impermeabilização, apesar de que outras soluções também são admissíveis na recuperação do pavimento, contudo, considerando a técnica de restauração de pavimento implantada, bem como analisando a questão econômica do empreendimento, o Microrrevestimento Asfáltico a Frio apresentou resultados mais eficazes, proporcionando assim, um baixo custo e eficiência na segurança e conforto dos usuários até os dias atuais.

No segmento homogêneo 2, baseando-se no conceito péssimo obtido, no elevado grau de degradação da superfície, e no VSA de 0.81, e de acordo com a Figura 9, encontra-se abaixo do limite de trafegabilidade, e de acordo com a CNT (2017 p. 63), torna-se necessária a reconstrução total do subtrecho.

## 5.2. COMPARATIVO ENTRE VB E FWD

A partir da revisão da literatura, o Quadro 3 a seguir foi elaborado, a fim de fazer uma comparação entre os ensaios de VB e FWD, citando suas principais vantagens e desvantagens, para que se possa chegar ao método mais viável de obtenção das deformações recuperáveis para o trecho estudado.

**Quadro 3 – Comparativo entre viga Benkelmam e FWD.**

<b>Viga Benkelmam</b>
<b>Tipo: Quase estático</b>
<b>Vantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Muito utilizada no Brasil, portanto, de fácil acesso;</li> <li>✓ Possui baixo custo de aquisição;</li> <li>✓ Versátil e simples de operar;</li> <li>✓ Necessidade de mão de obra pouco qualificada;</li> <li>✓ Embora a repetibilidade dos testes seja baixa, em termos médios, o valor medido retrata com grande aproximação a real deformação do pavimento;</li> <li>✓ Baixo custo do ensaio.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dificuldade de determinação da curvatura e tamanho da bacia de deflexão;</li> <li>✓ Baixa repetibilidade dos testes, ou seja, dispersão elevada das leituras;</li> <li>✓ Impossibilidade de assegurar que as bases de apoio da viga estejam fora da deformada;</li> <li>✓ O sensor mede a deflexão estacionária, não infere sensibilidade do veículo em movimento;</li> <li>✓ Morosidade do teste;</li> <li>✓ Baixa produtividade, cerca de 5 a 8 km/dia;</li> <li>✓ Como a medida é feita por carga quase estática não representa a real aplicação da carga dinâmica produzida pelos veículos;</li> <li>✓ As medidas não apresentam boa repetibilidade e a precisão diminui nos pontos mais afastados em relação ao ponto central;</li> <li>✓ Sujeito a erros de leitura, pois sua utilização depende diretamente do aplicador.</li> </ul>

(continua)

(continuação)

<b>FWD</b>
<b>Tipo: Carga Dinâmica de Impacto</b>
<b>Vantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Acurácia e repetibilidade na medida das deflexões e das cargas;</li> <li>✓ Medição e registro automático das temperaturas do ar e da superfície do pavimento e da distância percorrida entre os pontos de ensaio;</li> <li>✓ Redução ou mesmo eliminação de ensaios destrutivos complementares, para um mesmo nível de confiabilidade para o projeto de restauração;</li> <li>✓ As deflexões produzidas são as que mais se aproximam das deflexões causadas por um caminhão carregado em movimento, medidas a partir de acelerômetros instalados no pavimento;</li> <li>✓ A determinação e registro automático dos módulos de elasticidade das camadas constituintes do pavimento, através de processos de retroanálise das bacias de deformação (somente se acoplar um software de retroanálise);</li> <li>✓ A rapidez com que se pode variar a carga aplicada, agiliza o ensaio e permite avaliar a não linearidade no comportamento tensão-deformação dos materiais constituintes das camadas do pavimento;</li> <li>✓ Equipe mínima envolvida na execução do ensaio, porém, especializada.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A presença de uma camada rígida na estrutura de um pavimento, dependendo da sua profundidade, pode afetar a bacia de deformação, o que viria a dificultar a retroanálise dos módulos;</li> <li>✓ A aceleração da carga do FWD é maior que a de uma carga de roda em movimento, de modo que a inércia da massa do pavimento pode desempenhar um papel importante para o FWD, enquanto que é desprezível para a roda em movimento, o que parece não afetar a boa concordância das deflexões medidas com o FWD com as medidas sob carga de roda;</li> <li>✓ FWD gera um sinal de carga transiente e o impulso gerado no pavimento cria ondas de corpo e ondas superficiais. Os sensores captam a velocidade vertical do movimento da superfície do pavimento, e a partir da integração analógica dos sinais obtém-se a resposta deflexão versus o tempo de cada sensor, sendo o tempo para completar esta operação de aproximadamente 100 ms. Usualmente estes sinais são utilizados para extrair o pico de carga e os picos de deflexão em cada sensor de modo que, a bacia de deformação não é na verdade, o que se observa durante o ensaio, pois há a diferença de fase dos sinais dinâmicos captados pelos transdutores;</li> <li>✓ A presença de nível d'água ou solo saturado mascaram os resultados, indicando a presença de um material rígido.</li> </ul>

**Fonte:** Adaptado de vários autores (MARQUES, 2002; ZANETTI, 2008; BORGES, 2001; NÓBREGA, 2003).

Dessa forma, levando em consideração o comprimento do trecho, disponibilidade do equipamento, custo de realização do ensaio, grau de instrução da equipe aplicadora, aceitabilidade e confiabilidade do método, o equipamento mais viável para obtenção das deflexões no trecho é a viga Benkelmam, pois apesar de ser muito difundido no Brasil, da melhor acurácia, rapidez de realização do ensaio, e facilidade de coleta e armazenagem dos dados, para trechos de pequena extensão, a aplicação do FWD se torna inviável pelo alto custo de aplicação, sendo mais viável para trechos de curta extensão e prefeituras o uso da viga, que é mais acessível (PAIVA e CAUSIM, 2000 Apud NÓBREGA, 2003).

## 6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se notar que os subtrechos avaliados apresentam diferentes graus de degradação da superfície. O primeiro foi classificado em regular nas duas metodologias utilizadas, já o segundo, foi conceituado como péssimo, em ambos os métodos, o que, de certa forma, confirma a veracidade da correlação aplicada entre IGG e VSA.

O segmento homogêneo 1 apresentou  $IGG = 74.57$  e  $VSA = 2.16$ , dessa forma, considerando que a via em questão não possui alto volume de tráfego, e como o VSA é maior que 2, valor que define o limite de aceitabilidade, torna-se possível concluir que este é o período aconselhável para se fazer uma manutenção corretiva, a fim de diminuir o IGG e aumentar o valor de serventia atual do pavimento, fazendo com que o segmento volte a apresentar níveis de desempenho aceitáveis.

A solução proposta para o segmento homogêneo 1 é a aplicação de microrrevestimento asfáltico a frio (MRAF), por ser justamente uma técnica aplicada na conservação preventiva e corretiva de rodovias e vias públicas cuja estrutura não esteja comprometida, promovendo o rejuvenescimento da camada de rolamento e melhorando as condições de aderência da interface pneu-pavimento, devolvendo ao pavimento conforto e segurança, e por consequência, gerando economia e aumentando a eficiência do modal.

No subtrecho homogêneo 2 com  $IGG = 174.86$  e  $VSA = 0.81$ , a situação é mais crítica, pois o segmento encontra-se abaixo do limite de trafegabilidade, e a gravidade da situação torna necessária a reconstrução total do segmento, e para tal, é indicado que sejam realizados uma série de estudos e ensaios.

Dessa forma, apesar das soluções propostas com base na avaliação funcional, para a correta definição e dimensionamento das intervenções a serem adotadas, seria necessário, além desta, uma avaliação mais criteriosa, compreendendo uma avaliação estrutural do trecho, um estudo de tráfego, para que se possa definir o real volume e os tipos de veículos que trafegam pela via, caracterização geotécnica dos materiais constituintes da base, sub-base e subleito por meio de furos de sondagem, a fim de obter os limites de Atterberg, granulometria, grau de compactação, massa específica aparente seca “in situ”, índice de suporte Califórnia (ISC) das camadas, bem como o estudo das características climáticas e ambientais da região.

Com relação a avaliação estrutural no trecho, feita a comparação dos métodos não destrutivos de obtenção das deformações recuperáveis no âmbito nacional, verificou-se que o método mais viável para realização de uma futura avaliação estrutural é a viga Benkelmam, que é tida como referência mundial para medida de deflexões, pois muitos métodos de

dimensionamento e sistemas de gerência foram concebidos para uso de suas medidas, como é o caso do sistema de gerência de pavimentos do DNER no Brasil, e apesar do surgimento de equipamentos com maior precisão, e produtividade, a viga ainda possui grande importância e utilidade no país.

## **7. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

- ✓ Avaliar estruturalmente o trecho, com uso da viga Benkelman, e realizar os estudos complementares necessários a fim de verificar se as soluções adotadas realmente estão condizentes com a realidade atual da via.
- ✓ Realizar de forma prática a avaliação funcional subjetiva, obtendo o valor de serventia atual, formando a equipe necessária para tal pretensão.
- ✓ Expandir a revisão literária, abordando outros equipamentos de obtenção das deformações recuperáveis.
- ✓ Fazer uma avaliação funcional e estrutural em toda a extensão da rodovia PB-293, a fim de definir soluções de restauração que contemple a via por completo.
- ✓ Analisar funcionalmente outras rodovias, armazenando os resultados obtidos, gerando um banco de dados a fim de fomentar um sistema de gerenciamento de pavimentos mais eficaz e que contemple o máximo de rodovias possível, para que as intervenções de restauração sejam realizadas no momento correto e com os procedimentos mais adequados, gerando economia, e trazendo conforto e segurança aos usuários.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

AGUIAR, Fred Digiacomio. **Avaliação funcional e estrutural do pavimento flexível no segmento monitorado de Itapoá**. Florianópolis, 2017.

ANDRADE, Lucas Rodrigues de. VASCONCELOS, Kamilla L. BERNUCCI, Liedi Légi Bariani. **Avaliação do comportamento estrutural de pavimentos por meio de adoção de parâmetros de bacia deflectométrica**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-SP, 2016.

ARAÚJO, Alexandre Martins. **Estudo laboratorial de tratamento superficial duplo utilizando britas convencionais**. SÃO LUÍS, 2019.

ARAÚJO, Marcelo Almeida; et. al. **Análise comparativa de métodos de pavimentação - pavimento rígido (concreto) x flexível (asfalto)**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento. Ano 01, Edição 11, Vol. 10, pp. 187-196, novembro de 2016.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo, 2007.

BARROS, Juliana Nayara. CARVALHO, Laísa Cristina. **Análise de pavimento flexível: estudo de um trecho crítico na rodovia José Roberto Pena**. Cristais-MG, 2018.

BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA, Laura M. G.; CERATTI, Jorge A. P.; SOARES, Jorge B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, Brasil: Petrobras, 2008.

BERTÃO, Nathália Beckert. **Estudo comparativo entre o módulo de resiliência obtido em laboratório e o inferido através da retroanálise**. Santa Maria-RS, 2015.

BORGES, Clarissa Beatriz Sandoval. **Estudo comparativo entre medidas de deflexão com viga Benkelman e FWD em pavimentos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina**. Florianópolis, dezembro de 2001.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do brasil não duram?** Brasília, 2017.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias**. Brasília, 2019.

COSTA, Talita Carvalho. PEREIRA, Diêgo de Almeida. DEON, Kaio César Arnaud. **retroanálise das bacias deflectométricas para obtenção dos módulos de resiliência das camadas de pavimentação da rodovia BR-163/PA brasil**. Centro Universitário do Distrito Federal (UDF), Departamento de Engenharia Civil - Brasília, 2017.

CORRÊA, Ana Marta Sales; SANTOS, Gabriel Luis Dos. **Estudo comparativo de análise de deflexões obtido a viga Benkelmam e FWD (falling weight deflectometer)**. Universidade do vale do Paraíba, São José dos Campos - SP, 2016.

**Deflectógrafo de Lacroix**. Disponível em: <http://www.vectra-esteio.com.br/lacroix>. Acessado em: 28/10/2020, às 10:36:35.

DER/SP, DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Avaliação funcional e estrutural de pavimento**. Instrução de projeto IP 003, 2006. 29 p.

DER/PB – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DA PARAÍBA. **Relação Descritiva de Rodovias e Estradas Estaduais Divisão em Trechos**. Disponível em: <https://der.pb.gov.br/sistema-rodoviario/rodovias>.

DER/PB – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DA PARAÍBA. **Trechos PB-293**. Disponível em: <http://159.203.110.236/cadastro/453/trecho/>.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Aferição de viga Benkelmam**. DNER-PRO 175, 1994.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Determinação das deflexões pela viga Benkelman**. DNER-ME 024/94.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos**. DNIT 006/2003 – PRO, Rio de Janeiro, 2003. 10 p.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos**. Procedimento 009, 2003.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – terminologia**. Norma DNIT 005/2003.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman**. Norma DNIT 133 – ME, 2010.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Determinação das deflexões utilizando o deflectógrafo Lacroix**. Norma DNIT PRO 162, 2012.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de estudos de tráfego, IPR 723. 3ed.** – Rio de Janeiro, 2006.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. IPR 720, 2006.

DÓRIA, Flávio Rodrigo. VILVERT, Rafael Rodrigo. **Microrrevestimento asfáltico a frio estudo de caso: análise da recuperação funcional na rodovia sc-406 trecho: morro das pedras – pântano do sul.** Palhoça/SC, 2018.

FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER (FWD). Disponível em: <http://dynatest.com.br/avaliacao-de-pavimentos/>. Acessado em: 21/10/2020, às 12:52:35.

FONSECA, Luiz Felipe da Silva da. **Análise das soluções de pavimentação do programa crema 2ª etapa do departamento nacional de infraestrutura de transportes.** Dissertação de mestrado, Rio de Janeiro, 2013.

FRANCO, Filipe Augusto Cinque de Proença. **Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – SISPAV.** Rio de Janeiro, 2007.

GOOGLE MAPS. disponível em: <https://maps.app.goo.gl/hvoysMjibD85GPRj7>. acessado em: 28/11/2020 às 10:47:37.

MACÊDO, J. A. G. **Interpretação de ensaios defletoométricos para avaliação estrutural de pavimentos flexíveis.** Tese (Doutorado). Universidade do Rio de Janeiro, 1996.

MANICO, Henderson. FONTUL, Simona. SILVA, Maria João Falcão. COUTO, Paula. GASPAR, Teresinha. **Aplicação de Bim na avaliação de pavimentos flexíveis.** Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2018.

MARQUES, Jose Roberto Franco. **Dimensionamento de reforço mediante retroanálise de avaliações estruturais não destrutivas.** USP-universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MOMM, Leto; DOMINGUES, Felipe Augusto Aranha. **Comportamento das misturas asfálticas a deflexão: módulo, um dilema não resolvido.** 30ª Reunião anual de Pavimentação, salvador - BA, 1996.

NETO, Roberto Villela. **Comparação entre métodos de dimensionamento de reforço de pavimentos flexíveis.** Florianópolis, 2017.

NÓBREGA, Eduardo Suassuna. **Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos.** Rio de Janeiro, 2003.

RIBEIRO, Thiago Pinheiro. **Estudo descritivo das principais patologias em pavimento flexível.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 04. Ano 02, Vol. 01. pp 733-754, Julho de 2017. ISSN:2448-0959.

RODRIGUES, Paulo Roberto. **Medidas de deflexão em pavimentos asfálticos urbanos com o deflectômetro de peso leve.** Joinville-SC 2018.

RODRIGUES, R. M. **Gerência de pavimentos – parte II – apostila, instituto tecnológico de aeronáutica.** São José dos Campos, 1998.

SERAFINI, L.; Gonçalves, F. P. **Critérios para priorização de intervenções de manutenção em redes pavimentadas.** 35ª Reunião Anual de Pavimentação. Rio de Janeiro, 2004.

SOUSA, Fagner Sampaio de. **Avaliação estrutural de pavimento flexível na marginal oeste da br-010, trecho: avenida goiás até avenida ipanema.** Palmas-TO, 2017.

VARGAS, Érica Gonçalves De. **Avaliação estrutural e retroanálise de um trecho de pavimento da avenida tiarajú no município de Alegrete – RS com a utilização de viga Benkelman.** Universidade Federal do Pampa, Alegrete 2019.

VIEIRA, Suyanne Alves. JÚNIOR, Antonio Adilson EufRASINO de Pinho. OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda de. AGUIAR, Marcos Fábio Porto de. **Análise comparativa de metodologias de avaliação de pavimentos através do IGG e PCI.** Instituto Federal de Educação, Fortaleza/CE, 2016.

ZANETTI, F.S. **o uso de redes neurais artificiais como ferramenta para auxiliar na determinação da vida útil de pavimentos flexíveis.** Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.

## APÊNDICE A – INVENTÁRIO DE DEFEITOS NO SUBTRECHO HOMOGÊNEO 1

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – SUBTRECHO HOMOGÊNEO 1																						
RODOVIA: PB-293										OPERADOR: AUTOR						FOLHA: 1		ESTACA 1				
TRECHO: ENTRADA BR-427 (B) - PAULISTA										DATA: 05/03/2020						0		15				
ESTACA	SEÇÃO	TRINCAS										AFUND.	OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		REVES.	
		ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO							TRI mm	TRE mm		
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC -2		FC -3		ALP 4	O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8				
						J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
0	SA														X			X	X	0	1	TSD
1	SA																	X		2	2	TSD
2	SA														X					3	2	TSD
3	SA																	X		1	4	TSD
4	SA																	X		0	0	TSD
5	SA																X			0	0	TSD
6	SA																X	X		0	0	TSD
7	SA														X					0	0	TSD
8	SA																			2	3	TSD
9	SA																X	X		3	4	TSD
10	SA														X			X		1	3	TSD
11	SA		X																	2	4	TSD
12	SA	X													X					0	0	TSD
13	SA																X			1	1	TSD
14	SA																X	X		4	1	TSD
15	SA	X															X	X		1	0	TSD

(continua)

(continuação)

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – SUBTRECHO HOMOGÊNEO 1																							
RODOVIA: PB-293										OPERADOR: AUTOR										FOLHA:		2	
TRECHO: ENTRADA BR-427 (B) – PAULISTA										DATA: 05/03/2020										ESTACA		ESTACA	
																				16		33	
ESTACA	SEÇÃO	TRINCAS										AFUND.	OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		REVES.		
		ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO											
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2		FC - 3		ALP 4	O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI mm	TRE mm			
								J 2	TB 2	JE 3	TBE 3												
16	SA																	2	3	TSD			
17	SA																	0	1	TSD			
18	SA														X	X		0	2	TSD			
19	SA												X					2	4	TSD			
20	SA												X			X	X	2	3	TSD			
21	SA																	2	1	TSD			
22	SA																	0	2	TSD			
23	SA												X				X	1	3	TSD			
24	SA												X			X		1	4	TSD			
25	SA															X		2	1	TSD			
26	SA															X		2	2	TSD			
27	SA																X	1	0	TSD			
28	SA															X		0	0	TSD			
29	SA																	2	6	TSD			
30	SA												X					0	0	TSD			
31	SA												X					3	3	TSD			
32	SA																X	1	2	TSD			
33	SA																X	1	1	TSD			

(continuação)

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – SUBTRECHO HOMOGÊNEO 1																							
RODOVIA: PB-293										OPERADOR: AUTOR										FOLHA: 3			
TRECHO: ENTRADA BR-427 (B) – PAULISTA										DATA: 05/03/2020										ESTACA 34		ESTACA 51	
ESTACA	SEÇÃO	TRINCAS								AFUND.		OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		REVES.			
		ISOLADAS						INTERLIGADAS		PLÁSTICO								TRI mm	TRE mm				
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3	ALP 4	O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7				R 8		
34	SA												X			X		2	1	TSD			
35	SA												X					3	1	TSD			
36	SA																	2	4	TSD			
37	SA															X	X	1	0	TSD			
38	SA												X					0	0	TSD			
39	SA												X			X		0	0	TSD			
40	SA															X		0	1	TSD			
41	SA												X					5	2	TSD			
42	SA																	0	2	TSD			
43	SA																X	3	0	TSD			
44	SA															X	X	1	1	TSD			
45	SA												X			X		0	2	TSD			
46	SA															X	X	3	2	TSD			
47	SA																	2	2	TSD			
48	SA																	1	0	TSD			
49	SA												X					3	3	TSD			
50	SA															X	X	2	6	TSD			
51	SA												X			X		2	0	TSD			

(continuação)

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – SUBTRECHO HOMOGÊNEO 1																					
RODOVIA: PB-293										OPERADOR: AUTOR						FOLHA: 4					
TRECHO: ENTRADA BR-427 (B) – PAULISTA										DATA: 05/03/2020						ESTACA		ESTACA			
																52		59			
ESTACA	SEÇÃO	TRINCAS										AFUND.	OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		REVES.
		ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO							TRI	TRE	
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3	ALP 4	O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	mm	mm	
52	SA																	4	2	TSD	
53	SA						X						X					3	0	TSD	
54	SA																	1	0	TSD	
55	SA							X										1	1	TSD	
56	SA																	1	0	TSD	
57	SA						X						X		X			2	2	TSD	
58	SC														X			4	0	TSD	
59	SC															X		2	0	TSD	

## APÊNDICE B – INVENTÁRIO DE DEFEITOS NO SUBTRECHO HOMOGÊNEO 2

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – SUBTRECHO HOMOGÊNEO 2																							
RODOVIA: PB-293										OPERADOR: AUTOR										FOLHA:		1	
TRECHO: PAULISTA – SÃO BENTO										DATA: 06/03/2020										ESTACA		ESTACA	
																				60		75	
ESTACA	SEÇÃO	TRINCAS												AFUND.	OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		REVES.
		ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO	TRI	TRE									
		FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	FC - 2		FC - 3		ALP 4	O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	mm	mm			
		1	1	1	1	1	1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3												
60	SC	X						X					X	X			X	X	2	3	TSD		
61	SC	X								X				X	X					2	4	TSD	
62	SA	X	X						X		X		X	X			X	X	0	0	TSD		
63	SA		X						X	X			X	X			X	X	0	0	TSD		
64	SA	X									X		X		X	X	X	X	2	5	TSD		
65	SA	X												X			X	X	2	0	TSD		
66	SA	X						X		X				X			X	X	0	0	TSD		
67	SA	X				X								X			X	X	2	0	TSD		
68	SA					X								X		X	X	X	0	0	TSD		
69	SA															X	X	X	3	1	TSD		
70	SA															X	X	X	0	0	TSD		
71	SA				X											X	X	X	1	0	TSD		
72	SA				X									X			X	X	0	2	TSD		
73	SA							X						X			X	X	1	0	TSD		
74	SA			X												X	X	X	0	0	TSD		
75	SA															X		X	1	3	TSD		

(continua)

(continuação)

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – SUBTRECHO HOMOGÊNEO 2																						
RODOVIA: PB-293										OPERADOR: AUTOR						FOLHA: 2						
TRECHO: PAULISTA – SÃO BENTO										DATA: 06/03/2020						ESTACA 76		ESTACA 93				
ESTACA	SEÇÃO	TRINCAS								AFUND.	OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		REVES.			
		ISOLADAS						INTERLIGADAS		PLÁSTICO	ALP 4	O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI mm		TRE mm		
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2													FC - 3	
								J 2	TB 2												JE 3	TBE 3
76	SA	X			X							X			X	X	2	0	TSD			
77	SA	X			X			X							X	X	1	0	TSD			
78	SA	X			X	X						X			X	X	0	2	TSD			
79	SA	X				X						X			X	X	2	1	TSD			
80	SA	X				X									X	X	3	0	TSD			
81	SA	X				X						X			X	X	0	2	TSD			
82	SA			X								X			X	X	1	0	TSD			
83	SA																2	0	TSD			
84	SA					X											0	2	TSD			
85	SA											X			X	X	0	0	TSD			
86	SA	X			X			X							X	X	6	4	TSD			
87	SA	X													X	X	2	0	TSD			
88	SA				X	X									X		0	3	TSD			
89	SA	X													X	X	0	0	TSD			
90	SA	X		X								X			X	X	1	2	TSD			
91	SA	X													X	X	0	4	TSD			
92	SA														X	X	0	5	TSD			
93	SC	X													X	X	1	3	TSD			

(continuação)

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – SUBTRECHO HOMOGÊNEO 2																					
RODOVIA: PB-293										OPERADOR: AUTOR						FOLHA:		3			
TRECHO: PAULISTA – SÃO BENTO										DATA: 06/03/2020						ESTACA		ESTACA			
																94		111			
ESTACA	SEÇÃO	TRINCAS								AFUND.	OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		REVES.		
		ISOLADAS						INTERLIGADAS		PLÁSTICO							TRI	TRE			
		FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	FC - 2		FC - 3		ALP	O	P	E	EX	D	R		mm	mm
		1	1	1	1	1	1	J	TB	JE	TBE										
94	SC	X											X			X	X	1	3	TSD	
95	SA					X							X			X	X	0	2	TSD	
96	SA			X		X							X			X	X	3	6	TSD	
97	SA			X	X								X			X	X	2	1	TSD	
98	SA					X					X		X			X	X	3	5	TSD	
99	SA	X				X							X			X	X	0	1	TSD	
100	SA	X											X			X	X	2	0	TSD	
101	SA	X			X			X					X			X	X	0	3	TSD	
102	SA	X						X					X			X	X	2	0	TSD	
103	SA	X				X										X		2	3	TSD	
104	SA	X														X		1	3	TSD	
105	SA		X										X			X		0	4	TSD	
106	SA					X							X			X		2	5	TSD	
107	SA															X		2	3	TSD	
108	SM															X		2	5	TSD	
109	SM	X	X										X			X		3	1	TSD	
110	SM					X										X		3	4	TSD	
111	SA			X												X		3	9	TSD	

(continuação)

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – SUBTRECHO HOMOGÊNEO 2																						
RODOVIA: PB-293										OPERADOR: AUTOR						FOLHA: 4						
TRECHO: PAULISTA – SÃO BENTO										DATA: 06/03/2020						ESTACA 112		ESTACA 129				
ESTACA	SEÇÃO	TRINCAS								AFUND.	OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		REVES.			
		ISOLADAS						INTERLIGADAS		PLÁSTICO	ALP 4	O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI mm		TRE mm		
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2													FC - 3	
								J 2	TB 2												JE 3	TBE 3
112	SA											X			X	X	5	4	TSD			
113	SA					X						X			X	X	3	1	TSD			
114	SA					X						X			X		0	0	TSD			
115	SA					X									X	X	1	3	TSD			
116	SA				X							X			X	X	0	0	TSD			
117	SA					X						X			X	X	4	4	TSD			
118	SA													X	X	X	0	4	TSD			
119	SA											X			X	X	1	3	TSD			
120	SA					X		X							X		13	4	TSD			
121	SA					X				X					X	X	4	3	TSD			
122	SA					X						X			X	X	3	3	TSD			
123	SA					X						X			X	X	0	1	TSD			
124	SA		X									X			X	X	0	3	TSD			
125	SA	X			X							X			X	X	4	1	TSD			
126	SA											X			X	X	1	2	TSD			
127	SM					X									X	X	2	5	TSD			
128	SM			X											X	X	4	1	TSD			
129	SM				X										X	X	7	6	TSD			

(continuação)

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – SUBTRECHO HOMOGÊNEO 2																							
RODOVIA: PB-293										OPERADOR: AUTOR										FOLHA:		5	
TRECHO: PAULISTA – SÃO BENTO										DATA: 06/03/2020										ESTACA		ESTACA	
																				130		147	
ESTACA	SEÇÃO	TRINCAS										AFUND.	OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		REVES.		
		ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO	ALP 4	O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI mm		TRE mm	
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2		FC - 3													
								J 2	TB 2	JE 3	TBE 3												
130	SA															X	X	3	3	TSD			
131	SA	X				X		X							X		X	5	8	TSD			
132	SA														X	X		0	0	TSD			
133	SA					X									X	X		2	3	TSD			
134	SA					X									X	X		6	1	TSD			
135	SA														X			3	3	TSD			
136	SA					X									X	X		0	1	TSD			
137	SA			X		X			X						X	X		0	0	TSD			
138	SM					X									X	X		4	3	TSD			
139	SM				X	X									X	X		0	3	TSD			
140	SM	X			X				X						X	X		0	0	TSD			
141	SM														X	X		5	4	TSD			
142	SA														X	X		0	0	TSD			
143	SA					X									X	X		2	1	TSD			
144	SA														X	X		0	0	TSD			
145	SA														X	X		0	0	TSD			
146	SA														X	X		0	0	TSD			
147	SA					X									X	X		0	0	TSD			

(continuação)

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – SUBTRECHO HOMOGÊNEO 2																			
RODOVIA: PB-293										OPERADOR: AUTOR						FOLHA:		6	
TRECHO: PAULISTA – SÃO BENTO										DATA: 06/03/2020						ESTACA		ESTACA	
																148		165	
ESTACA	SEÇÃO	TRINCAS								AFUND.	OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		REVES.
		ISOLADAS				INTERLIGADAS				PLÁSTICO									
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3	ALP 4	O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	
148	SA					X									X	X	0	0	TSD
149	SA												X		X	X	3	5	TSD
150	SA														X	X	4	0	TSD
151	SA				X										X	X	0	6	TSD
152	SA												X		X	X	3	5	TSD
153	SA								X						X	X	0	5	TSD
154	SA				X								X		X	X	0	3	TSD
155	SA	X			X								X		X	X	3	8	TSD
156	SA												X		X	X	3	5	TSD
157	SA							X					X		X	X	1	5	TSD
158	SA												X		X	X	3	2	TSD
159	SA				X								X		X	X	0	0	TSD
160	SA												X		X	X	2	0	TSD
161	SA														X	X	0	0	TSD
162	SA												X		X	X	0	0	TSD
163	SA							X		X					X	X	3	0	TSD
164	SA			X											X	X	0	0	TSD
165	SA														X	X	3	5	TSD

(continuação)

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – SUBTRECHO HOMOGÊNEO 2																									
RODOVIA: PB-293										OPERADOR: AUTOR										FOLHA: 7					
TRECHO: PAULISTA – SÃO BENTO										DATA: 06/03/2020										ESTACA 166		ESTACA 183			
ESTACA	SEÇÃO	TRINCAS										AFUND.	OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		REVES.				
		ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO	ALP 4	O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI mm		TRE mm			
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2		FC - 3															
								J 2	TB 2	JE 3	TBE 3														
166	SA																X			X	X	0	2	TSD	
167	SA																	X			X	X	0	3	TSD
168	SA			X	X															X	X	3	3	TSD	
169	SA																	X			X	X	0	0	TSD
170	SA					X												X			X	X	4	0	TSD
171	SA																			X	X	0	0	TSD	
172	SA																			X	X	0	0	TSD	
173	SA					X												X			X	X	3	2	TSD
174	SA											X						X			X	X	4	0	TSD
175	SA																	X			X	X	3	6	TSD
176	SA																			X	X	0	3	TSD	
177	SA																			X	X	0	0	TSD	
178	SA																	X			X	X	6	4	TSD
179	SA																			X	X	0	0	TSD	
180	SA			X														X			X	X	2	3	TSD
181	SA					X												X			X		1	2	TSD
182	SA					X												X			X		0	0	TSD
183	SA					X		X												X		0	4	TSD	

(continuação)

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – SUBTRECHO HOMOGÊNEO 2																						
RODOVIA: PB-293										OPERADOR: AUTOR						FOLHA: 8						
TRECHO: PAULISTA – SÃO BENTO										DATA: 06/03/2020						ESTACA 184		ESTACA 201				
ESTACA	SEÇÃO	TRINCAS								AFUND.	OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		REVES.			
		ISOLADAS						INTERLIGADAS		PLÁSTICO	ALP 4	O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI mm		TRE mm		
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2													FC - 3	
								J 2	TB 2												JE 3	TBE 3
184	SA			X		X						X			X		5	3	TSD			
185	SA	X				X						X			X	X	0	5	TSD			
186	SA	X				X						X			X	X	0	1	TSD			
187	SA		X			X						X			X	X	0	0	TSD			
188	SA					X						X			X	X	0	2	TSD			
189	SA		X		X										X		2	3	TSD			
190	SA			X		X						X			X		0	2	TSD			
191	SA											X			X	X	6	1	TSD			
192	SA					X						X			X	X	0	3	TSD			
193	SA											X			X	X	3	8	TSD			
194	SA														X		5	2	TSD			
195	SA					X		X				X			X	X	2	9	TSD			
196	SA					X		X							X	X	0	5	TSD			
197	SA	X													X		4	5	TSD			
198	SA				X										X	X	1	4	TSD			
199	SA	X			X										X	X	2	0	TSD			
200	SA										X		X		X	X	0	1	TSD			
201	SA														X	X	3	3	TSD			

(continuação)

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – SUBTRECHO HOMOGÊNEO 2																					
RODOVIA: PB-293										OPERADOR: AUTOR						FOLHA:		9			
TRECHO: PAULISTA – SÃO BENTO										DATA: 06/03/2020						ESTACA		ESTACA			
																202		219			
ESTACA	SEÇÃO	TRINCAS								AFUND.	OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		REVES.		
		ISOLADAS						INTERLIGADAS		PLÁSTICO											
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2		FC - 3		ALP 4	O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8		TRI mm	TRE mm
								J 2	TB 2	JE 3	TBE 3										
202	SA											X			X	X	2	4	TSD		
203	SA				X	X									X	X	2	2	TSD		
204	SA											X			X	X	0	3	TSD		
205	SA											X			X	X	0	1	TSD		
206	SA			X		X									X	X	4	6	TSD		
207	SA											X			X	X	1	2	TSD		
208	SA											X			X	X	1	2	TSD		
209	SA					X						X			X	X	0	0	TSD		
210	SA				X	X						X			X	X	1	3	TSD		
211	SA				X							X			X	X	3	4	TSD		
212	SA					X		X							X	X	0	4	TSD		
213	SA			X								X			X	X	3	1	TSD		
214	SA					X						X			X	X	1	5	TSD		
215	SA					X		X				X			X	X	0	3	TSD		
216	SA			X		X						X		X	X		1	0	TSD		
217	SA													X	X	X	2	2	TSD		
218	SA														X	X	0	0	TSD		
219	SA											X			X	X	3	1	TSD		

(continuação)

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – SUBTRECHO HOMOGÊNEO 2																				
RODOVIA: PB-293										OPERADOR: AUTOR						FOLHA: 10				
TRECHO: PAULISTA – SÃO BENTO										DATA: 06/03/2020						ESTACA		ESTACA		
										220						-				
ESTACA	SEÇÃO	TRINCAS								AFUND.	OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		REVES.	
		ISOLADAS						INTERLIGADAS		PLÁSTICO							TRI	TRE		
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3	ALP 4	O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8		mm
220	SA															X	X	0	1	TSD