

Mariana Lisboa da Silva

**AVALIAÇÃO FUNCIONAL OBJETIVA DE PAVIMENTO FLEXÍVEL: UM ESTUDO
DE CASO DA AVENIDA GETÚLIO VARGAS EM SÃO LUÍS - MA**

São Luís – MA

2017

Mariana Lisboa da Silva

**AVALIAÇÃO FUNCIONAL OBJETIVA DE PAVIMENTO FLEXÍVEL: UM ESTUDO
DE CASO DA AVENIDA GETÚLIO VARGAS EM SÃO LUÍS - MA**

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Engenharia Civil da Fundação Uni-
versidade Federal do Maranhão, como requisito
parcial à obtenção do grau de Bacharel em En-
genharia Civil.

Fundação Universidade Federal do Maranhão
Cidade Universitária Dom Delgado
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Coordenação do Curso de Engenharia Civil

Orientadora: Prof. MSc. Ana Carolina da Cruz Reis

São Luís – MA

2017

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Silva, Mariana Lisboa da.

Avaliação Funcional Objetiva de Pavimento Flexível : um estudo de caso da Avenida Getúlio Vargas em São Luís - MA / Mariana Lisboa da Silva. - 2018.

142 f.

Orientador(a): Ana Carolina da Cruz Reis.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

1. Avaliação Funcional. 2. Conceitos de degradação.
3. Defeitos de pavimento. 4. Índice de Gravidade Global.
5. Pavimento Asfáltico. I. Reis, Ana Carolina da Cruz.
II. Título.

Mariana Lisboa da Silva

**AValiação Funcional Objetiva de Pavimento Flexível: Um Estudo
de Caso da Avenida Getúlio Vargas em São Luís - MA**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Fundação Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho aprovado. São Luís – MA, 11 de janeiro de 2018:

Prof. MSc. Ana Carolina da Cruz Reis
Orientadora
Universidade Federal do Maranhão

**Prof. MSc. Ana Beatriz Pereira Segadilha
dos Santos**
Membro da Banca Examinadora
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Paulo César de Oliveira Queiroz
Membro da Banca Examinadora
Universidade Federal do Maranhão

São Luís – MA

2017

Dedico esta, bem como todas as minhas conquistas, a minha mãe Rosinéia Paixão, meu porto seguro. Ao meu avô (in memoriam), que permanece presente em todas as fases da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pela determinação a mim concebida para a concretização de mais este objetivo.

A minha mãe Rosinéia Paixão, amor incondicional, por acreditar em mim, por participar das minhas inquietações e tolerar meus humores, e por, muitas vezes, renunciar aos seus sonhos para tornar possíveis os meus. Amo-te demais, mãe!

Aos avós, tios e primos, pela confiança depositada. De forma especial, ao avô José Antônio (*in memoriam*), pelos valores a mim deixados.

A UFMA, pelo acolhimento e oportunidade de formação acadêmica e profissional.

A minha orientadora Ana Carolina, pelo inestimável apoio dado, dedicação e orientação prestada ao longo do desenvolvimento da monografia, além da ininterrupta disponibilidade demonstrada. Um exemplo de profissional!

A UEMA, pela concessão de equipamentos importantes ao desenvolvimento desta pesquisa.

Ao GPIT-UFMA, pela significativa contribuição na etapa da coleta de dados desta pesquisa. A todos os integrantes do grupo, agradeço imensamente pela responsabilidade e compromisso mostrado durante o levantamento de defeitos da Avenida Getúlio Vargas.

Aos funcionários da SEMOSP. De forma especial, ao Eng. Benedito Lebre Soares, pela receptividade, por todas as informações cedidas e pelo conhecimento compartilhado.

Aos professores do Curso de Engenharia Civil, por todos os ensinamentos transmitidos durante a Graduação. Sem vocês, não seria possível chegar até aqui.

A Wellison Duarte, pelo carinho e companheirismo ao longo desta jornada.

A Poliana Lima, fiel amiga, pelo companheirismo intenso nos últimos meses, pelos conselhos e bom humor que tornam sua amizade ainda mais especial. Agradeço por tolerar e compreender meus momentos de stress, por fazer-me rir das suas “molecagens” e por sua inestimável ajuda na realização deste trabalho.

A Priscila Lima, pela importante contribuição nas edições da monografia.

A Jéssica Serrão, por sua amizade desde o início da Graduação. Agradeço a convivência compartilhada, a atenção dedicada nos momentos mais precisos e o incentivo para a realização deste trabalho.

A Maria da Glória, uma amizade de infância. Agradeço pelo incentivo, apoio e por me fazer acreditar que sou capaz.

A Mary Chrystinne, pela amizade, orações e conversas construtivas. Agradeço por dividir comigo os momentos de estudos e por contribuir com essa caminhada.

As amigas Letícia Moraes e Pâmela Nascimento, pelo laços de amizade, companheirismo e por tantas risadas partilhadas.

A todos os demais amigos de Graduação, com os quais foram compartilhados cinco anos intensos de aprendizado, sufoco, gargalhadas, aventuras e energias positivas.

Aos membros da banca, pela disposição à participação da banca examinadora e por suas contribuições.

Agradeço a todos que acreditaram e que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”
(Charles Chaplin)

RESUMO

O atual estado degradado da infraestrutura rodoviária brasileira e a necessidade em melhorá-la exige a adoção de proposições coerentes e concisas de procedimentos técnicos de avaliação de pavimentos. O primeiro passo para equacionar este problema consiste no diagnóstico dos problemas existentes, visando à tomada de medidas corretivas. A avaliação funcional é uma técnica que verifica a eficiência no desempenho da função do pavimento a partir do levantamento de defeitos presentes na camada de desgaste do mesmo. O presente estudo propôs uma análise e classificação das ocorrências de defeitos aparentes no pavimento asfáltico da Avenida Getúlio Vargas, localizada na cidade de São Luís- MA. A análise sucedeu-se por meio da metodologia da Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos, preconizada pela norma DNIT-PRO 006/2003. Realizou-se o cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG), o que permitiu a atribuição de conceitos de degradação ao pavimento avaliado. O Trecho de análise foi dividido em Segmentos Homogêneos (SH's), o que facilitou a obtenção de subtrechos contínuos com características superficiais semelhantes. Conferiu-se que 87,71% dos Segmentos Homogêneos no sentido Avenida João Pessoa-Canto da Fabril apresentam condições superficiais ruins; 14,29% apresentam condições péssimas. Enquanto que no sentido Canto da Fabril-Avenida João Pessoa, 12,50% dos Segmentos Homogêneos encontram-se em condições ruins; e 87,50% em condições péssimas. Os conceitos Ruim e Péssimo atribuídos à cada SH avaliado reforçam a necessidade de intervenções na Av. Getúlio Vargas afim de reestabelecer as condições funcionais da mesma e proporcionar melhores condições de tráfego.

Palavras-chave: Avaliação Funcional. Conceitos de degradação. Defeitos de pavimento. Índice de Gravidade Global. Pavimento Asfáltico.

ABSTRACT

The current degraded state of Brazilian road infrastructure and the need to improve it requires the adoption of coherent and concise propositions of technical procedures of pavements evaluation. The first step to address this problem consists in the diagnose of the existing problems, with a view to taking corrective measures. The functional evaluation is a technique that verifies the performance efficiency of the pavement function from the survey of defects present in the wear layer thereof. The present study proposed the analysis and classification of occurrences of apparent defects in the asphalt pavement of Getúlio Vargas Avenue, located in the city of São Luís-MA. The analysis was succeeded by the methodology of the objective evaluation of the surface of flexible and semi-rigid pavements, recommended by the standard DNIT-PRO 006/2003. The calculation of the Global Severity Index (IGG) was carried out, which allowed the attribution of degradation concepts to the evaluated pavement. The Analysis Section was divided into Homogeneous Segments (SH's), which facilitated the obtaining of continuous sub-checks with similar surface characteristics. It was confirmed that 87.71% of the Homogeneous Segments in the direction João Pessoa Avenue-Canto da Fabril Avenue present bad surface conditions; 14.29% present poor conditions. While in the direction Canto da Fabril-João Pessoa Avenue, 12.50% of the Homogeneous Segments are in bad conditions; and 87.50% in poor conditions. The Bad and Poor concepts attributed to each Homogeneous Segment evaluated reinforce the need for interventions at Getúlio Vargas Avenue in order to reestablish the functional conditions of the same and provide better traffic conditions.

Keywords: Functional Evaluation. Concepts of degradation. Pavement defects. Global Severity Index. Asphalt Pavement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Via Ápia	24
Figura 2 – Vias romanas:(a) Via Ostiense (b) Via urbana em Pompéia	24
Figura 3 – Resquícios do Caminho do Ouro ou da Estrada Real em MG	25
Figura 4 – Esquema do sistema multiestratificado que compõe o pavimento	28
Figura 5 – Estrutura de um pavimento rígido	32
Figura 6 – Pavimentação rígida com placas de concreto	33
Figura 7 – Resposta mecânica do pavimento rígido: pressões distribuídas	34
Figura 8 – Pavimentação semi-rígida	35
Figura 9 – Diversos tipos de pavimentos semi-rígidos	35
Figura 10 – Degradação de tensões no pavimento flexível	36
Figura 11 – Estrutura de pavimento em base betuminosa	37
Figura 12 – Estrutura de pavimento em base granular	37
Figura 13 – Rodeiras por deformação excessiva	41
Figura 14 – Fendilhamento por fadiga	41
Figura 15 – Tipos de granulares:(a) Brita graduada simples, (b) Macadame Hidráulico e (c) Macadame seco	42
Figura 16 – Fendilhamento longitudinal por retração térmica	43
Figura 17 – Fendilhamento em malha larga	43
Figura 18 – Representação esquemática das solicitações em um pavimento flexível	45
Figura 19 – Camadas do Revestimento Asfáltico	47
Figura 20 – Exemplos de Pavimento novo com Revestimento Asfáltico	47
Figura 21 – Composições granulométricas (a) aberta; (b) descontínua; (c) densa	48
Figura 22 – Aplicação de lama asfáltica em um trecho de via urbana	50
Figura 23 – Aplicação de microrrevestimento como restauração funcional em rodovia	51
Figura 24 – Processo de fresagem à frio de um pavimento	52
Figura 25 – Reciclagem <i>in situ</i> com espuma de asfalto	52
Figura 26 – Reciclagem <i>in situ</i> com emulsão rejuvenescedora ARE	53
Figura 27 – Aplicação de tratamento superficial duplo na BR 468/RS	54
Figura 28 – Fendas transversais	58
Figura 29 – Fendas longitudinais	59
Figura 30 – Fendas interligadas tipo couro de jacaré	60
Figura 31 – Afundamento plástico nas trilhas de roda	61
Figura 32 – Afundamento de consolidação local	61
Figura 33 – Ondulações	62
Figura 34 – Desgaste	62
Figura 35 – Escorregamento (a) do revestimento (b) da massa asfáltica	63

Figura 36 – Exsudação	64
Figura 37 – Painela	64
Figura 38 – Remendos: (a) bem executado (b) mal executado	65
Figura 39 – Treliça para medição das flechas de deformações excessivas	69
Figura 40 – Delineamento da pesquisa realizada	76
Figura 41 – Planta de localização da Avenida Getúlio Vargas	78
Figura 42 – Mapa de localização da Avenida Getúlio Vargas	79
Figura 43 – Representação esquemática do pavimento da Avenida Getúlio Vargas	80
Figura 44 – Treliça metálica para medição dos afundamentos	81
Figura 45 – Estaqueamento e demarcação das estações de avaliação	82
Figura 46 – Exemplo de demarcação das superfícies de avaliação	82
Figura 47 – Preenchimento dos inventários de avaliação	83
Figura 48 – Medição de trinca isolada	84
Figura 49 – Medição de afundamento de trilha de roda	84
Figura 50 – Defeitos atípicos nas estações (a) 114 e (b) 209	86
Figura 51 – Ocorrência de defeitos (quantitativo) da Avenida Getúlio Vargas	87
Figura 52 – Trincas (a) longitudinal e (b) transversal na estação 10	88
Figura 53 – Trinca interligada tipo couro de jacaré com erosão nas estações (a) 29 e (b) 82	88
Figura 54 – Estação 225 em estágio de fadiga avançado	88
Figura 55 – Desgaste do pavimento na estação 12	89
Figura 56 – Ondulações em revestimento da estação 162	89
Figura 57 – Painelas nas estações (a) 132 e (b) 228	90
Figura 58 – Escorregamentos de massa asfáltica nas estações (a) 34 e (b) 170	90
Figura 59 – (a) Remendo trincado e (b) ondulado nas estações 142 e 167, respectivamente	91
Figura 60 – Remendo de intervenção em rede subterrânea na estação 111	91
Figura 61 – Imperfeições em tampa de PV nas estações (a) 45 e (b) 149	92
Figura 62 – Desplacamento do revestimento asfáltico na estação 168	92
Figura 63 – Solevamento lateral do afundamento plástico de trilha na estação 125	93
Figura 64 – Afundamento plástico de trilha de roda na estação 187	93
Figura 65 – Exsudação na estação 123	94
Figura 66 – Ocorrência de defeitos no sentido A da Avenida Getúlio Vargas	94
Figura 67 – Ocorrência de defeitos no sentido B da Avenida Getúlio Vargas	95
Figura 68 – Divisão dos Segmentos Homogêneos no sentido A	97
Figura 69 – Divisão dos Segmentos Homogêneos no sentido B	98
Figura 70 – Diagramas unifilares dos SH's da Avenida Getúlio Vargas	100
Figura 71 – Distribuição porcentual das condições funcionais da Avenida Getúlio Vargas	101
Figura 72 – Distribuição de defeitos do segmento de menor IGG no sentido A	101
Figura 73 – Distribuição de defeitos do segmento de maior IGG no sentido A	102
Figura 74 – Distribuição de defeitos do segmento de menor IGG no sentido B	102

Figura 75 – Distribuição de defeitos do segmento de maior IGG no sentido B 103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Legenda das camadas do pavimento da Figura 4	29
Quadro 2 – Função das camadas de um Pavimento Rodoviário	29
Quadro 3 – Tipos de pavimentos em função dos seus materiais e deformabilidade . . .	30
Quadro 4 – Base classificatória para pavimentos rodoviários	31
Quadro 5 – Influência das características de superfície	39
Quadro 6 – Famílias e tipos de degradações	56
Quadro 7 – Defeitos de pavimentos e os respectivos códigos adotados pelo DNIT . . .	57
Quadro 8 – Defeitos apresentados no Procedimento DNIT PRO 006/2003	68
Quadro 9 – Codificação dos defeitos e os respectivos fatores de ponderação	69
Quadro 10 – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG	70
Quadro 11 – Defeitos apresentados no Procedimento DNIT-PRO 007/2003	71
Quadro 12 – Conceituação, descrição da condição e valores do ICP	72
Quadro 13 – Pesos dos defeitos em função da frequência de ocorrência	73
Quadro 14 – Índice do estado da superfície do pavimento	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução da Rede Rodoviária Federal e Estadual (Km)	26
Tabela 2 – Características geométricas da Avenida Getúlio Vargas	77
Tabela 3 – Resultado global de ocorrência de defeitos na Avenida Getúlio Vargas . . .	87
Tabela 4 – Divisão dos Segmentos Homogêneos no sentido A	96
Tabela 5 – Divisão dos Segmentos Homogêneos no sentido B	96
Tabela 6 – Resultados dos IGG's dos sentidos A e B	99
Tabela 7 – Inventário 1A	115
Tabela 8 – Inventário 2A	116
Tabela 9 – Inventário 3A	117
Tabela 10 – Inventário 4A	118
Tabela 11 – Inventário 5A	119
Tabela 12 – Inventário 6A	120
Tabela 13 – Inventário 1B	121
Tabela 14 – Inventário 2B	122
Tabela 15 – Inventário 3B	123
Tabela 16 – Inventário 4B	124
Tabela 17 – Inventário 5B	125
Tabela 18 – Inventário 6B	126
Tabela 19 – Segmento 1 Sentido A	128
Tabela 20 – Segmento 2 Sentido A	129
Tabela 21 – Segmento 3 Sentido A	130
Tabela 22 – Segmento 4 Sentido A	131
Tabela 23 – Segmento 5 Sentido A	132
Tabela 24 – Segmento 6 Sentido A	133
Tabela 25 – Segmento 7 Sentido A	134
Tabela 26 – Segmento 1 Sentido B	135
Tabela 27 – Segmento 2 Sentido B	136
Tabela 28 – Segmento 3 Sentido B	137
Tabela 29 – Segmento 4 Sentido B	138
Tabela 30 – Segmento 5 Sentido B	139
Tabela 31 – Segmento 6 Sentido B	140
Tabela 32 – Segmento 7 Sentido B	141
Tabela 33 – Segmento 8 Sentido B	142

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> - Associação Norte-Americana de Órgãos Oficiais Rodoviários e de Transporte
AAUQ	Areia Asfalto Usinada a Quente
ABESC	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARE	Emulsão modificada com Agente Rejuvenescedor
CA	Concreto Asfáltico
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CNT	Confederação Nacional de Transportes
CBQU	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CPA	Camada Porosa de Atrito
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EAP	Emulsão Asfáltica de Petróleo
FRN	Fundo Rodoviário Nacional
GPIT	Grupo de Pesquisa em Infraestrutura de Transportes
IBP	Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis
ICPF	Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis,
IES	Índice do Estado de Superfície do Pavimento
IGG	Índice de Gravidade Global
IGGE	Índice de Gravidade Global Expedido
IGI	Índice de Gravidade Individual
INIR	Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias

LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LVC	Levantamento Visual Contínuo
MRAF	Microrrevestimento Asfáltico a Frio
NBR	Norma Brasileira
PIARC	<i>Permanent International Association of Road Congress</i> - Associação Internacional Permanente de Congresso Rodoviário PMF Pré-misturados a frio
SEMOSP	Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos de São Luís
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
SH	Segmento Homogêneo
SHRP	<i>Strategic Highway Research Program</i> – Programa de Pesquisas Rodoviárias Estratégicas dos Estados Unidos
SMA	<i>Stone Matrix Asphalt</i> - Agregado Argamassa Asfalto
TRE	Trilhas de Roda Externa
TRI	Trilhas de Roda Interna
TS	Tratamento Superficial
TSD	Tratamento Superficial Duplo
TSS	Tratamento Superficial Simples;
TST	Tratamento Superficial Triplo.
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
VMD	Volume Médio Diário
VSA	Valor de Serventia Atual
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i> – Deflectômetro de carga dinâmica por queda de pesos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Considerações Iniciais	19
1.2	Justificativa	20
1.3	Objetivos	21
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	<i>21</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>21</i>
1.4	Estrutura do Trabalho	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1	Histórico da Pavimentação	23
2.2	Pavimentos	27
<i>2.2.1</i>	<i>Constituição dos Pavimentos Rodoviários</i>	<i>28</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Tipos de Pavimentos</i>	<i>30</i>
<i>2.2.2.1</i>	<i>Pavimento Rígido</i>	<i>32</i>
<i>2.2.2.2</i>	<i>Pavimento Semi-rígido</i>	<i>34</i>
<i>2.2.2.3</i>	<i>Pavimento Flexível</i>	<i>36</i>
2.3	Misturas Asfálticas	45
<i>2.3.1</i>	<i>Misturas Usinadas</i>	<i>47</i>
<i>2.3.1.1</i>	<i>Misturas Usinadas a Quente</i>	<i>48</i>
<i>2.3.1.2</i>	<i>Misturas Usinadas a Frio</i>	<i>49</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Misturas In Situ</i>	<i>50</i>
<i>2.3.3</i>	<i>Misturas Asfálticas Recicladas</i>	<i>51</i>
<i>2.3.4</i>	<i>Tratamentos Superficiais</i>	<i>53</i>
2.4	Terminologia dos Defeitos em Pavimentos Flexíveis	55
<i>2.4.1</i>	<i>Fendas</i>	<i>57</i>
<i>2.4.2</i>	<i>Afundamentos</i>	<i>60</i>
<i>2.4.3</i>	<i>Corrugação ou Ondulação</i>	<i>61</i>
<i>2.4.4</i>	<i>Desgaste</i>	<i>62</i>
<i>2.4.5</i>	<i>Escorregamento</i>	<i>63</i>
<i>2.4.6</i>	<i>Exsudação</i>	<i>63</i>
<i>2.4.7</i>	<i>Panela</i>	<i>64</i>
<i>2.4.8</i>	<i>Remendo</i>	<i>65</i>
2.5	Avaliação de Pavimentos	66
<i>2.5.1</i>	<i>Avaliação Funcional</i>	<i>67</i>
2.6	Métodos de Levantamento	67
<i>2.6.1</i>	<i>Procedimento DNIT PRO 006/2003</i>	<i>68</i>

2.6.2	<i>Procedimento DNIT PRO 007/2003</i>	71
2.6.3	<i>Procedimento DNIT PRO 008/2003</i>	72
2.6.4	<i>Procedimento DNIT PRO 009/2003</i>	73
3	MATERIAIS E MÉTODOS	75
3.1	Estratégia de Pesquisa	75
3.2	Delineamento	75
3.3	Caracterização do Objeto de Estudo	76
3.3.1	<i>Definição da Via</i>	76
3.3.2	<i>Localização e Classificação</i>	77
3.3.3	<i>Características Geométricas</i>	77
3.3.4	<i>Características do Pavimento</i>	79
3.4	Avaliação Funcional do Pavimento	80
3.4.1	<i>Levantamento de Dados</i>	80
3.4.2	<i>Determinação do Índice de Gravidade Global (IGG)</i>	85
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	86
4.1	Condições Superficiais das Estações Avaliadas	86
4.2	Divisão em Subtrechos Homogêneos	95
4.3	Índice de Gravidade Global	99
4.4	Análise dos Resultados	103
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
5.1	Conclusões	105
5.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	106
	REFERÊNCIAS	107
	APÊNDICE A – INVENTÁRIOS DE OCORRÊNCIAS DE DEFEITOS	115
	APÊNDICE B – PLANILHAS DE ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL	127

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O solo, em sua condição natural, não apresenta capacidade suficiente para suportar a repetição de cargas sem sofrer deformações significativas. Nesse sentido, a construção do pavimento sobre o subleito torna-se necessária e destina-se a resistir, simultaneamente, aos esforços verticais e horizontais que atuam sobre o mesmo (ABNT, 1982). Para que atenda a esse propósito, a estrutura do pavimento torna-se particularmente importante. A mesma deve ser constituída por camadas superpostas, de materiais diferentes, que distribuam as solicitações de cargas, diluindo as tensões verticais aplicadas na superfície e garantindo, assim, proteção ao subleito (BALBO, 2007).

O projeto de um pavimento, portanto, deve prezar pelo cumprimento de demandas estruturais e funcionais, para que seja garantido o desempenho adequado do seu conjunto de camadas e do subleito por um longo período de tempo, de tal forma que a estrutura possa desempenhar sua função de proporcionar trafegabilidade, conforto ao rolamento e segurança aos usuários, independente das variações climáticas ou do fluxo de veículos (BERNUCCI et al., 2008). O pavimento deve funcionar, pois, como um sistema integralizado.

Sabe-se que a matriz de transportes brasileira é majoritariamente rodoviária, o que torna este modal o principal meio de circulação de bens e pessoas, tendo representatividade de cunho social e econômico para o País. Entretanto, a rede viária brasileira enfrenta sérios problemas de pavimentação. Apesar de possuir uma das malhas rodoviárias mais extensas do mundo, o Brasil ainda está muito aquém das principais economias do globo, apresentando 212.886 km de rodovias pavimentadas dentre seu total de 1.735.621 km de estradas implantadas, o equivalente a apenas 12,3%, aproximadamente (CNT, 2017).

Não obstante, dados apresentados pelo Relatório Gerencial da Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2017) mostram que a infraestrutura dessa pequena porcentagem é deficiente. No que concerne ao quesito qualidade dos pavimentos, foram identificados 52.911 km (50,0% da extensão total avaliada na pesquisa) com algum tipo de problema no pavimento, sendo 34,0% classificados como Regular, 13,2% como Ruim e 2,8% como Péssimo, comprometendo significativamente a segurança dos usuários e o desempenho em suas viagens. Apenas 40,3% e 9,7% da extensão avaliada encontrava-se em Ótimo e em Bom estado de conservação, respectivamente.

Gonçalves (2016) justifica que são grandes as dificuldades encontradas pelos administradores de uma rede pavimentada, seja rodoviária, seja urbana, quanto ao planejamento, programação e identificação de estratégias de manutenção e conservação. Outrossim, a deficiência de procedimentos técnicos bem estabelecidos contribui para a tomada de decisões pautadas em

soluções que não representam, muitas vezes, a real necessidade dos pavimentos.

Nesse contexto, dado o atual estado degradado da infraestrutura rodoviária brasileira e a necessidade em melhorá-la, faz-se necessário a adoção de proposições coerentes e concisas de procedimentos técnicos de avaliação dos pavimentos. Portanto, estudos direcionados ao conhecimento do estado funcional das vias assumem papel importante, uma vez que permitem determinar o grau de deterioração das mesmas e, então, fornecer subsídios aos sistemas de gestão rodoviária para a implantação de técnicas apropriadas de manutenção e reabilitação, visando à ampliação da vida útil das rodovias.

Dessa forma, este trabalho apresenta um panorama geral da pavimentação com ênfase em defeitos em pavimentos, e fundamenta-se em uma coleta de dados realizada em campo para um estudo de caso na cidade de São Luís - MA. Trata-se de um levantamento referente às patologias existentes no pavimento asfáltico da Avenida Getúlio Vargas, a qual compreende uma extensão de 2,3 km, a partir do Canto da Fabril até o seu cruzamento com a Avenida João Pessoa.

A Avenida Getúlio Vargas é considerada uma das mais importantes do sistema viário local, interligando alguns bairros do município, tais como Monte Castelo, Alemanha, Liberdade, Centro e Fé em Deus. Tais características a tornam densa em atividades comerciais e institucionais, apresentando elevado fluxo de transportes devido aos vários polos geradores de tráfego que geram interferências no tráfego local, como: a Instituição Aldenora Belo, o Instituto Federal do Maranhão (IFMA), o Instituto SENAI e o Hospital Nina Rodrigues.

O método de avaliação proposto na presente pesquisa é a Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos, preconizado pela norma DNIT - PRO 006/2003. A avaliação compreende um conjunto de ações destinadas à obtenção de dados e definição de parâmetros que permitem o diagnóstico das condições superficiais do pavimento asfáltico da Avenida em estudo. Com os resultados obtidos, torna-se possível detectar suas necessidades atuais e futuras de manutenção, bem como verificar se o mesmo está atendendo às especificações para as quais foi projetado.

1.2 Justificativa

Sabe-se que parte da reduzida extensão de rodovias pavimentadas brasileiras não é considerada adequada para o tráfego de bens e pessoas. Combinado às condições desfavoráveis das rodovias, a pressão crescente do volume de tráfego em uma cidade pode implicar em uma série de externalidades negativas na rede de circulação viária urbana (CNT, 2017).

A rede viária urbana constitui-se em um importante Patrimônio Público, em função do importante papel que exerce no desenvolvimento das atividades da comunidade local. Nesse sentido, exige atenção especial da Administração Pública no tocante à sua manutenção, de forma a proporcionar à população deslocamento rápido e em condições satisfatórias de conforto e

segurança.

Com o crescimento exponencial do número de veículos nos últimos anos em São Luís, é notável os reflexos negativos no trânsito da capital, o qual se torna cada vez mais lento, com congestionamentos maiores. Além disso, há o aumento do número de acidentes, do tempo de deslocamento e das perdas dos produtos transportados.

Tal sobrecarga na demanda de veículos aliada à ausência de investimentos em manutenção e conservação das avenidas com pavimentação asfáltica contribui para o surgimento de defeitos nos pavimentos, evidenciando a depreciação cada vez mais acentuada das vias urbanas. Essa tendência pode ser claramente observada na Avenida Getúlio Vargas, localizada na cidade de São Luís - MA, onde são notados diversos defeitos de pavimento.

Urge, portanto, a necessidade de que o Poder Público, em parceria com os respectivos órgãos responsáveis, faça investimentos em alternativas adequadas para restauração de pavimentos asfálticos deteriorados, a fim de implantar condições seguras nas vias urbanas da capital.

Nesse contexto, a presente pesquisa realiza uma avaliação técnica a partir do diagnóstico das patologias existentes na Avenida Getúlio Vargas, São Luís – MA, tendo sua justificativa baseada na necessidade em determinar as condições da superfície do pavimento e o grau de deterioração em que ele se encontra por meio do método de avaliação funcional de superfície pela determinação do Índice de Gravidade Global (IGG). Dessa forma, a pesquisa se apresenta como uma ferramenta de auxílio na gestão do pavimento junto a órgãos competentes, visando à manutenção do seu bom funcionamento e o prolongamento da sua vida útil.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar as patologias presentes no pavimento asfáltico da Avenida Getúlio Vargas, localizada na cidade de São Luis - MA, e desenvolver, a partir de então, a Avaliação Funcional Objetiva da Superfície do pavimento embasada na atribuição do Índice de Gravidade Global (IGG).

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Identificar e analisar os defeitos existentes no pavimento asfáltico da via urbana em estudo;
2. Classificar as ocorrências aparentes através de cálculos de frequência absolutas e relativas;
3. Realizar a avaliação da superfície do pavimento flexível, de acordo com as diretrizes da norma DNIT-PRO 006/2003;

4. Classificar a condição superficial do pavimento estudado.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1: Introdução ao Tema.

Capítulo 2: Investigação bibliográfica referente aos assuntos abordados: pavimentos, seus tipos e constituição, os defeitos superficiais ocorrentes em pavimentos flexíveis, e os tipos de avaliação bem como os métodos de levantamento de defeitos realizados no Brasil.

Capítulo 3: Descrição do trecho monitorado nesta pesquisa, bem como os materiais e as métodos empregados para o desenvolvimento da proposta cometida.

Capítulo 4: Apresentação dos dados levantados em campo, com posterior síntese da condição funcional do pavimento a partir da organização, validação e análise dos dados obtidos. São apresentados ainda as discussões referentes aos resultados alcançados

Capítulo 5: Apresentação das principais conclusões e constatações obtidas a partir do método de pesquisa realizado. São também apresentadas as recomendações para futuros estudos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo apresenta um panorama geral sobre o tema abordado nesta pesquisa. Desta forma, esta seção contempla o histórico da pavimentação, a definição de pavimento e suas classificações, os defeitos em revestimentos asfálticos e os métodos de avaliação funcional adotados no Brasil.

Neste último item, explicitam-se os objetivos e informações necessárias para uma avaliação funcional objetiva, delimitando passo a passo, como efetuar um adequado levantamento de defeitos em pavimentos asfálticos.

2.1 Histórico da Pavimentação

As vias de transporte terrestre se fizeram progressivamente importantes desde os tempos em que as comunidades humanas reconheceram as vantagens do comércio e passaram a usufruir de regalias resultantes da especialização na produção de bens e sua comercialização (SOUZA, 2009). Conforme Francisco (2012) as primeiras rodovias datam do final do século XIX, em substituição as estradas de carruagem.

O desenvolvimento de tecnologias de materiais e combustíveis no século XX propiciou o surgimento dos primeiros veículos automotores para o transporte de cargas e passageiros. Nessa mesma velocidade, surgiu a necessidade de pavimentação das vias, que até então eram improvisadas e ocupavam as vias carroçáveis, de forma a garantir viabilidade econômica e operacional ao transporte rodoviário (BITTENCOURT, 1958).

Diante do exposto, é possível afirmar que explorar a história da pavimentação é recorrer à própria história da humanidade, levando-se em consideração o povoamento dos continentes, as conquistas territoriais e os processos de urbanização e desenvolvimento. A história é formada por camadas assim como os pavimentos, e as estradas são os caminhos percorridos pelos arqueólogos nas explorações do passado (BERNUCCI et al., 2008).

A evolução de veículos com rodas de madeira e, posteriormente, de aço demandou por superfícies revestidas, propiciando o surgimento de estradas mais resistentes. Hagen (1995) recorda à atribuição aos romanos da arte maior de planejamento e de construção viária. Segundo Margary (1967), no que se refere à geometria, as vias não detinham traçado suave como hoje, entretanto, quesitos referentes à aterros e drenagem eram detentores de preocupação. Em geral, a fundação era formada por pedras grandes dispostas em linha de modo a proporcionar uma boa plataforma e ainda possibilitar a drenagem. A camada intermediária era comumente composta por areia, misturada ou não com pedregulho ou argila, a fim de adicionar resiliência ao pavimento. A última camada de superfície era variável; a maioria compunha-se de pedras nas bordas formando uma espécie de meio-fio (ADAM, 1999). A essa variabilidade nas camadas

das estradas romanas se devia à disponibilidade de materiais na região.

A literatura (PREGO, 2001; BITTENCOURT, 1958; RIBAS, 1958; KNAPTON, 1996) registra diversas estradas antigas que se transformaram em estradas pavimentadas. Destaque da rede viária romana, a Via Ápia (Figura 1), construída em 312 a.C. por Appius Claudius, atravessa os pântanos de Pontino por meio de um aterro de 28 km construído sobre estrado de pranchas de madeira. A Via foi pavimentada por construtores da época e grande parte de sua extensão foi feita com peças de pedras aparelhadas em forma octogonal, um pavimento intertravado (CRUZ, 2003).

Figura 1 – Via Ápia



Fonte: Madrid (2004, p.6)

Após o sucesso da Via Ápia, uma série de outros projetos viários foram realizados. A Figura 2(a) ilustra a atual Via Ostiense, que liga Óstia a Roma. A Figura 2(b) mostra uma via urbana em Pompéia, no sul da Itália. Em ambas, observa-se a pavimentação realizada com pedras devidamente intervaladas para permitir a circulação dos veículos rodantes; as calçadas para pedestres utilizavam a mesma técnica.

Figura 2 – Vias romanas:(a) Via Ostiense (b) Via urbana em Pompéia



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.14)

Com a queda do Império Romano em 476 d.C., as novas nações europeias fundadas nos séculos seguintes não priorizaram a construção e a conservação das estradas. Após os romanos, a França foi a primeira cidade a reconhecer o efeito do transporte no comércio, conferindo importância à velocidade de viagem (MASCARENHAS NETO, 1790). Enfatiza-se que desde esta época, era visível uma grande preocupação com diversos aspectos importantes para a execução de uma boa pavimentação, tais como: drenagem, abaulamento, erosão, distância de transporte, compactação, sobrecarga e marcação.

Na segunda metade do século XIX, com a crescente utilização do cimento Portland em construções diversas, o concreto para pavimentação de vias foi utilizado pela primeira vez na cidade de Grenoble, França. Em 1870, o primeiro pavimento com revestimento betuminoso foi executado na cidade de Newark, nos Estados Unidos. Mais adiante, em 1876, foi construído o primeiro pavimento urbano de concreto na cidade de Bellafontaine, em Ohio, Estados Unidos (PREGO, 2001).

No Brasil, registros apontam que a construção de uma das primeiras estradas teve início em 1560, período do terceiro governador-geral, Mem de Sá. Refere-se ao caminho aberto para ligar São Vicente ao Planalto Piratininga. Em 1661, o governo da Capitania de São Vicente recuperou esse caminho, construindo a Estrada a Mar, permitindo assim o tráfego de veículos. Mais tarde, em 1789, a estrada foi recuperada com pavimentação em lajes de granito, a denominada Calçada de Lorena, ainda hoje em parte preservada (BERNUCCI et al., 2008).

Outra importante veia da história brasileira é a Estrada Real (Figura 3), designação usada em Minas Gerais, que tem sua origem nos caminhos abertos pelos índios goianás antes da chegada dos portugueses.

Figura 3 – Resquícios do Caminho do Ouro ou da Estrada Real em MG



Fonte: Godinho (2009, p.13)

Também conhecida como Caminho do Ouro (designação usada em Paraty), ligava Ouro Preto a Paraty e foi acrescida por uma construção mais recente que seguia do Rio de Janeiro a

Diamantina. No século XVIII, a Estrada Real teve seu percurso pavimentado para transportar o ouro das minas; no seguinte, foi melhorado para transportar o café. Porém, no século XX, foi abandonado e esquecido. Atualmente, o caminho vem sendo recuperado para fins turísticos (PEREIRA, 2010).

CONCER (1997) apresenta a Estrada de Rodagem União e Indústria, que liga Petrópolis (RJ) a Juiz de Fora (MG), como a primeira rodovia concessionada do Brasil e a primeira estrada brasileira a usar macadame como base/revestimento, sendo inaugurada por D. Pedro II em 1860. Contando com um percurso de 144 km, a União e Indústria representa um marco na modernização da pavimentação e do país.

No início do século XX, o Brasil contava com 500 km de estradas pavimentadas com revestimento de macadame hidráulico ou variações, com a ressalva de tráfego restrito a veículos de tração animal. A primeira pavimentação de concreto de cimento Portland foi executada em um trecho de 8km da via Caminho do Mar, em 1922. A segunda pavimentação deste tipo ocorreu em 1927 ligando o Rio de Janeiro a Petrópolis por uma estrada de cerca de 23 km, existente até os dias atuais (BALBO, 2007).

No ano de 1937 foi criado, pelo presidente Getúlio Vargas, o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), subordinado ao Ministério de Viação e Obras Públicas. Posteriormente, entre as décadas de 1940 e 1950, a criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) foi uma alavanca para a construção rodoviária brasileira. Segundo Prego (2001), 1950 foi o marco inicial da execução de pavimentos em escala industrial e da consequente organização de grandes empresas construtoras.

Em 1985, o Brasil já apresentava, aproximadamente, 110.000 km de rodovias pavimentadas em todo o seu território, saltando para 133.377km em 1993 (BERNUCCI et al., 2008), conforme a Tabela 1. O quantitativo da rede rodoviária demonstrado na tabela não contempla a rede viária municipal, responsável pela grande malha não pavimentada no país.

Tabela 1 – Evolução da Rede Rodoviária Federal e Estadual (Km)

Ano	Federal			Estadual		
	Pavimentada	Não Pavimentada	Total	Pavimentada	Não Pavimentada	Total
1970	24.146	27.394	51.540	24.431	105.040	129.471
1975	40.190	28.774	68.964	20.641	86.320	106.961
1980	39.685	19.480	59.165	41.612	105.756	147.368
1985	46.455	14.410	60.865	63.084	100.903	163.987
1990	50.310	13.417	63.727	78.284	110.769	189.053
1993	51.612	13.783	65.395	81.765	110.773	192.530
2003	57.143	14.049	71.192	84.352	111.410	195.762
2005	58.149	14.651	72.800	98.377	10.963	208.340
2007	61.304	13.636	74.940	106.548	113.451	219.999

Fonte: Ministério dos Transportes (2008)

De acordo com a CNT (2017), a malha rodoviária brasileira soma 1.735.621 km de estradas federais, estaduais e municipais. Dentre estes, apenas 212.886 km são pavimentados.

Contudo, boa parte desta extensão não é considerada adequada para o tráfego de pessoas e bens. A sobrecarga de demanda aliada à ausência de investimentos em manutenção e conservação nos moldes necessários são os fatores que vêm contribuindo para a depreciação da malha rodoviária brasileira.

2.2 Pavimentos

A literatura estudada apresenta várias definições de pavimento. Dessa forma, pode-se conceituá-lo como uma estrutura laminar estratificada que apoia-se em um maciço semi-indefinido, o solo de fundação, tendo que suportar as solicitações de tráfego e ações distintas durante um longo período de anos, sem deterioração que afete sua estrutura bem como a segurança dos usuários (AASHTO, 1993; BALBO, 2007; PINELO, 1991). O Manual de Pavimentação do DNIT acresce que:

O pavimento, por injunções de ordem técnico-econômicas é uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocadas em contato resultando daí um elevado grau de complexidade no que respeita ao cálculo de tensões e deformações e atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego (DNIT, 2006, p. 95)

No que tange à sua função, o pavimento destina-se a melhorar as condições de segurança e conforto ao usuário, bem como resistir e distribuir ao subleito, simultaneamente, os esforços verticais e horizontais que atuam sobre o mesmo (ABNT, 1982; BERNUCCI et al., 2008). Sua principal finalidade está em assegurar uma superfície de rolamento que permita a circulação dos veículos com comodidade, durante um determinado período de vida do pavimento, sob as ações do tráfego e nas condições climáticas que ocorram (SANDBERG, 2011).

Pereira e Miranda (1999) defendem que a estrutura do pavimento é construída para receber e transmitir esforços de modo a aliviar as pressões sobre as camadas inferiores que, em sua maioria, possuem menor resistência. Infere-se, portanto, que cada camada exerce papel estrutural e funcional, sendo responsável por absorver os impactos gerados pelo tráfego e assegurar comodidade na circulação viária.

Tal proposição pode ser justificada pelos autores Azevedo, Pais e Pereira (2000) ao afirmarem que a função estrutural está ligada à capacidade que o conjunto das diversas camadas tem para resistir às cargas aplicadas pelos veículos e às ações climáticas, sem sofrer degradações que ponha em risco a funcionalidade do pavimento, assim como impedir o acesso de água externa às camadas granulares e ao solo de fundação. Enquanto que o papel funcional está relacionado à criação de uma superfície regular e resistente, com aderência e resistência suficientes ao desgaste, de forma a garantir as características de segurança e conforto da superfície de rolamento.

Nestas definições, estão distintas as funções estruturais e funcionais de um pavimento. Todavia, pesquisas realizadas por Medina (1997) mostram que ao se dimensionar o pavimento

como um sistema de camadas dotadas de rigidez assim como calcular as tensões e deformações, perde o sentido a definição das camadas quanto às suas funções específicas e diferentes umas das outras.

Conforme o Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias do DNIT (2010a), um pavimento, nomeadamente rodoviário, deve atender aos seguintes atributos para possuir um grau de segurança adequado: suportar os efeitos do mau tempo, permitir deslocamento suave, não causar desgaste excessivo dos pneus e alto nível de ruídos, ter estrutura forte, resistir ao desgaste, permitir o escoamento das águas e ter boa resistência a derrapagens. Para esta finalidade, a estrutura do pavimento torna-se particularmente importante.

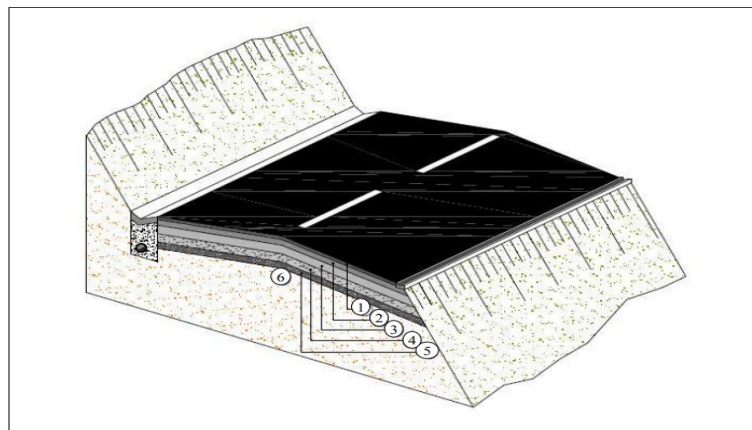
Baseado em tais aspectos, o projeto de um pavimento deve atender à duas demandas: estrutural e funcional. Esta, por meio das requisições de comodidade e segurança de circulação dos utentes. Aquela, por meio da capacidade de suportar as tensões e deformações que derivam do tráfego e das condições ambientais sem ocasionar alterações além dos valores limites, colocando em risco os aspectos da qualidade funcional (MINHOTO, 2005).

2.2.1 Constituição dos Pavimentos Rodoviários

Para que um pavimento rodoviário satisfaça às exigências dos usuários: conforto, segurança e economia, a sua concepção tem que considerar as solicitações que atuarão sobre o mesmo assim como as camadas que o constituirão. Nessa perspectiva, torna-se fundamental conhecer as partes e os materiais que os constituem.

Diversos autores discorrem sobre a referida constituição. Segundo Francisco (2012), os pavimentos rodoviários são compostos, de um modo geral, por três camadas: camadas superiores, camadas granulares e o solo de fundação, cuja distribuição encontra-se ilustrada na Figura 4. A nomenclatura e função de cada uma dessas partes são apresentadas nos Quadros 1 e 2, respectivamente.

Figura 4 – Esquema do sistema multiestratificado que compõe o pavimento



Quadro 1 – Legenda das camadas do pavimento da Figura 4

Estrutura de um Pavimento Rodoviário	
Camadas superiores	1-Camada de desgaste 2-Camada de regularização
Camadas inferiores	3-Camada de base 4-Camada de subbase 5-Leito do pavimento

Fonte: Bernucci et al. (2008, p.14)

Quadro 2 – Função das camadas de um Pavimento Rodoviário

Camadas do Pavimento		Função
Camadas Superiores	Desgaste	Drenagem Distribuição das tensões induzidas pelo tráfego Promoção da circulação do tráfego com conforto e segurança
	Ligação/Regularização	Impermeabilidade
	Base Betuminosa	Camada estrutural
Camadas Granulares	Base	Camada estrutural Degradação das cargas induzidas pelo tráfego
	Sub-Base	Camada estrutural Proteção das camadas inferiores durante a fase construtiva Drenagem interna do pavimento Resistência à erosão
Solo de Fundação	Leito do Pavimento	Homogeneidade das características mecânicas da fundação Plataforma construtiva Possibilidade de compactação das camadas subjacentes em adequadas condições
	Terreno de Fundação	Suporte do pavimento

Fonte: Adaptado de INIR (2009)

Conforme a Especificação do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), as camadas de desgaste e fundação são as principais, e cada uma destas pode ser composta por camadas elementares (LNEC, 1962). De forma similar, Bernucci et al. (2008) explica que a existência de algumas camadas será determinada pela tipologia dos pavimentos, porém todos estes devem conter: camada de revestimento, base, sub-base e subleito. Quanto à sua composição, Figueiredo (2011) apresenta a existência de dois materiais distintos: as misturas betuminosas e os materiais granulares.

As camadas superiores são ligadas e apresentam na sua constituição partículas aglutinadas com um ligante hidrocarbonado, que pode ser hidráulico para pavimentos rígidos ou betume asfáltico para os pavimentos flexíveis. As camadas granulares são formadas por agregados, britados ou naturais e são estabilizadas mecanicamente. O solo de fundação é constituído pelo solo natural, mas quando o mesmo não apresenta as características mecânicas desejadas, em alguns casos, pode ser submetido à estabilização ou até adicionado de uma camada de melhor

qualidade, o que passa a ser designado de “leito do pavimento” (FRANCISCO, 2012).

O Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias (INIR, 2009) aborda que as camadas de base e de ligação podem ser abatidas nos casos de pavimentos de baixo fluxo de veículos uma vez que o tipo de materiais e espessuras das mesmas dependem das ações de tráfego e do clima. Ademais, as camadas granulares ou a camada de sub-base granular, para o mesmo tipo de pavimento, podem ser subtraídas e substituídas pelo tratamento in situ dos solos de fundação. Diante de todo o exposto, infere-se que determinada composição é particular para cada classe de pavimento, portanto, é fundamental conhecer seus tipos, assim como o desempenho dos mesmos.

2.2.2 Tipos de Pavimentos

Na generalidade, a terminologia consagrada pela literatura internacional classifica os pavimentos rodoviários em três categorias: flexíveis, semi-rígidos e rígidos. Tal divisão depende da deformabilidade das camadas e dos diferentes materiais utilizados na sua construção, conforme mostrado no Quadro 3, o que reflete diretamente no comportamento estrutural do pavimento (PEREIRA; MIRANDA, 1999; SENÇO, 1997; YODER; WITCZAK, 1975). Por sua vez, a escolha de cada um destes tipos de pavimentos dependerá da categoria da estrada, das condições climáticas, da intensidade do tráfego, da qualidade de resistência do solo de fundação, assim como da qualidade dos materiais disponíveis (ALMEIDA, 1986).

Quadro 3 – Tipos de pavimentos em função dos seus materiais e deformabilidade

Tipo de Pavimento	Materiais	Deformabilidade
Rígido	Hidráulicos e granulares	Muito reduzida
Semi-rígido	Hidrocarbonatos, hidráulicos e granulares	Reduzida
Flexível	Hidrocarbonetos e granulares	Elevada

Fonte: Branco, Pereira e Santos (2008)

Entretanto, conforme as pesquisas realizadas, há situações intermediárias que não se enquadram nessas três categorias de pavimentos. A exemplo, Balbo (2007) aponta que os europeus têm empregado, com certa frequência, um tipo de pavimento denominado composto, que consiste de concreto revestido por uma camada de rolamento elaborada com um tipo de mistura asfáltica. Outrossim, uma técnica denominada “*whitetopping*”, consagrada há anos nos Estados Unidos, vem sendo empregado com muito sucesso no Brasil, na BR-290 (trecho Porto Alegre-Osório) e na rodovia SP-103/79, em São Paulo. Tal método consiste no reforço de pavimentos flexíveis com uma camada de 50 a 150 mm de concreto de cimento Portland, com juntas mais próximas e sem barras de transferências de cargas entre as placas (CARVALHO, 2008). Não obstante, Silva (2008) cita como tipos de pavimentos os que são revestidos com cascalhos, solos estabilizados naturalmente e outros, mais usuais em vias de baixo volume de tráfego.

Nesse sentido, observa-se que estabelecer um parâmetro de classificação para os pavimentos rodoviários é uma tarefa difícil. Diante dessas colocações, estudos mais recentes realizados por Balbo (2007) apresentam uma classificação baseada em vários tipos de combinação de camadas, eliminando restrições quanto ao uso de um revestimento flexível sobre uma base rígida, e vice-versa. Tal classificação está indicada no Quadro 4.

Quadro 4 – Base classificatória para pavimentos rodoviários

Classificação	Definições
Pavimento de Concreto	Composto por revestimento em concreto de cimento Portland vibrado ou compactado, com ou sem juntas, armado ou não
Pavimento Asfáltico	Pavimento que possui revestimento asfáltico
<i>Pavimento Full Depth Asphalt</i>	Composto exclusivamente por camadas de misturas asfálticas aplicadas sobre o subleito
Pavimento Rígido	É o pavimento cuja camada superior, absorvendo grande parcela de esforços horizontais solicitantes acaba por gerar pressões verticais bastante aliviadas e bem distribuídas sobre as camadas inferiores
Pavimento Flexível	É o pavimento no qual a absorção de esforços se dá de forma dividida entre várias camadas, encontrando-se as camadas inferiores concentradas em região próxima da área de aplicação da carga
Pavimento Semi-rígido	Composto por revestimento asfáltico e base e/ou sub-base em material tratado com cimento (brita ou solo) de elevada rigidez excluídos quaisquer tipos de concreto
Pavimento Semi-flexível	Algumas vezes aplicados a pavimentos com revestimentos em blocos intertravados ou articulados sobre bases granulares
Pavimento de Blocos de Concreto	Pavimento com revestimento em blocos intertravados ou articulados de concreto. O <i>Permanent International Association of Road Congress</i> (PIARC) classifica-o, dentro de um senso geral, como composto
Pavimento Composto	Possui revestimento asfáltico esbelto (em geral poroso) sobre concreto de cimento Portland

Fonte: Balbo (2007)

Contudo, essas variantes implementadas aos tipos de pavimentos não farão parte do escopo deste trabalho. O objeto de estudo do mesmo está direcionado à análise da camada de desgaste do pavimento flexível com revestimento asfáltico, uma vez que este representa mais de 90% da extensão da rede rodoviária nacional e sendo essa a camada totalmente exposta aos diversos agentes de deterioração. No entanto, será abordado, de forma breve, as características fundamentais dos outros principais tipos de pavimentos defendidos a princípio: rígidos e semirrígidos.

De uma forma geral, o pavimento rígido é associado ao pavimento de concreto de cimento Portland, sendo constituído por camadas que trabalham essencialmente à tração; o pavimento flexível possui constituição à base de ligantes betuminosos ou asfálticos, e suas camadas não trabalham à tração; e o semirrígido contém característica intermediária entre o flexível e o

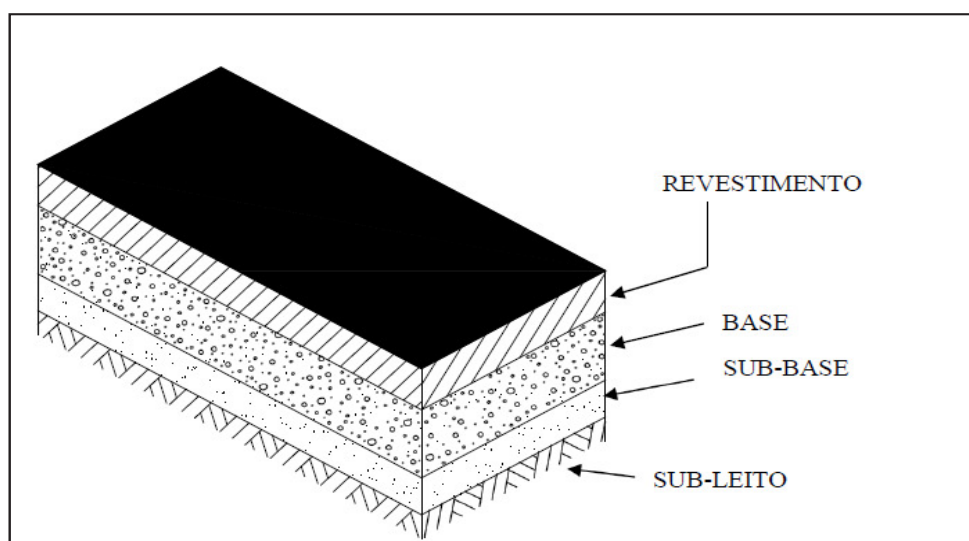
rígido, uma vez que apresenta materiais cimentícios na camada de base, por exemplo.

2.2.2.1 Pavimento Rígido

O Pavimento rígido é composto por uma camada superior constituída por materiais estabilizados com ligantes hidráulicos, seguida de, ou uma camada granular de transição também estabilizada com ligante hidráulico ou uma camada de sub-base (BRANCO; PEREIRA; SANTOS, 2008). Em termos semelhantes, Pitta (1989) define pavimento rígido o formado por uma placa de concreto simples, com ou sem barras de ligação, ou mesmo de concreto armado, com alta resistência, que distribui ao subleito os carregamentos provenientes das cargas aplicadas na superfície, tendo como elemento de contribuição uma camada intermediária denominada sub-base, com características estruturais semelhantes a base de um pavimento flexível.

Quanto à sua estrutura, o pavimento rígido constitui-se de base, sub-base, subleito e as placas de concreto, com juntas transversais e longitudinais, cuja função é a transferência de carga de uma placa para outra. Ilustra-se o esquema típico de um pavimento rígido na Figura 5.

Figura 5 – Estrutura de um pavimento rígido



Fonte: Balbo (2007, p.25)

No que tange à sua função, a mesma é garantida pela elevada resistência à flexão das lajes de betão de cimento, que possuem cerca de 15 a 40 cm de espessura, fixada em função das resistências das camadas subjacentes, conforme declara o INIR (2009). No entanto, estes esforços de flexão provocam grandes extensões de compressão e tração que podem ser evitados reforçando o dimensionamento. Desse modo, os pavimentos rígidos dividem-se em cinco categorias em função do fendilhamento por retração: pavimento de concreto simples, conforme pode-se observar na Figura 6, pavimento de concreto com armadura distribuída descontínua,

pavimento de concreto estruturalmente armado, pavimento de concreto protendido e pavimento com fibras (PEREIRA, 1971).

Figura 6 – Pavimentação rígida com placas de concreto



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.337)

O uso de concreto na pavimentação vem se tornando cada vez mais comum, visto suas vantagens para vias de tráfegos pesado e intenso, o que pode ser reafirmado por Bauer (2000), Mesquita (2001) e Moscatelli (2001), ao destacarem que os pavimentos rígidos possuem maior durabilidade e são menos propensos a deformações; o concreto oferece maior aderência dos pneus ao asfalto, diminuindo a possibilidade de acidentes, além de ser impermeável, impedindo a infiltração de água e formação de buracos na estrutura. No Brasil, são significativos os resultados obtidos na pavimentação em concreto, podendo-se mencionar obras de vulto já executadas, como a duplicação da rodovia BR 101 NE, o Rodoanel Mário Covas/SP, a Rodovia dos Imigrantes/SP, a Via Dutra/SP, e as Marginais da Castello Branco/SP.

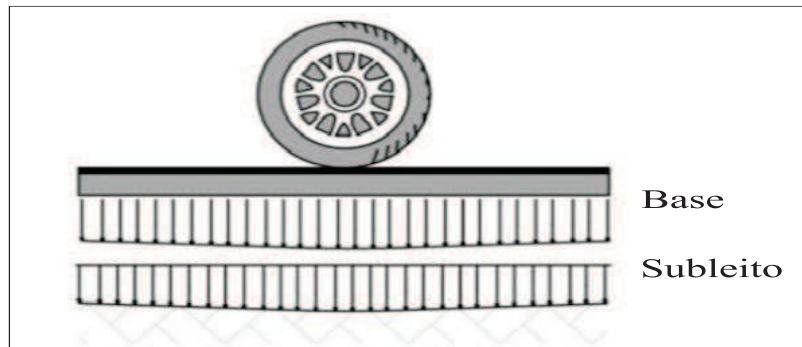
A Cement Association of Canadian (CAC, 2000) defende que o pavimento rígido reage de forma diferente aos demais quanto à distribuição das cargas nas camadas. Neste tipo de pavimento as placas de concreto têm uma elevada rigidez e, portanto, absorvem quase todo o carregamento imposto a estrutura, sendo o subleito estruturalmente menos vulnerável a cargas pesadas, conforme visualizado na Figura 7.

Outras vantagens do pavimento de concreto são referidas pela Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (ABESC, 2017):

- Resistente à ataques químicos, especialmente produtos derivados do petróleo;
- Serviços de manutenção reduzidos, sendo o custo final, em geral, menor que do pavimento asfáltico;

- Oferece condições de visibilidade e frenagem adequadas, haja visto que a claridade e rugosidade são características das placas de concreto;
- O projeto de dimensionamento típico apresenta período de 20 anos com a primeira intervenção de manutenção na selagem das juntas a 10 anos.

Figura 7 – Resposta mecânica do pavimento rígido: pressões distribuídas



Fonte: Balbo (2007, p.234)

2.2.2.2 Pavimento Semi-rígido

Vários autores utilizam a nomenclatura “Semi-rígido” para a estrutura que possui camada superior constituída por materiais ligados com ligantes betuminosos aplicada sobre uma camada de materiais granulares tratados com ligantes hidráulicos, com uma importante influência na capacidade de carga do pavimento, e uma camada de sub-base estabilizada mecanicamente (FRANCISCO, 2012). Trata-se, portanto, de um pavimento com características intermediárias entre o flexível e o rígido, com possibilidade de mistura de solo-cimento, solo-betume ou solo-cal, conforme ilustrado na Figura 8.

Medina (1997) explica que após a adição de ligante hidráulico em um material de pavimentação há o aumento de resistência a esforços de tração, além de evidente ganho em relação a compressão, dado à presença do cimento hidratado. Nesse sentido, a base gera capacidade suficiente para absorver os esforços induzidos pela passagem dos veículos, e ainda reduz as tensões transmitidas à fundação do pavimento.

Entretanto, esse pavimento está sujeito a sérios problemas. A ruína estrutural do pavimento semi-rígido é causada pela repetição dos esforços de tração em flexão a que é submetida a camada de base, o que conduz ao seu fendilhamento por fadiga. Outro tipo de ruína que pode ser citado é o fendilhamento em malha larga nas camadas betuminosas, o que está associado a falta de coesão do material tratado (JIMENÉZ, 2007).

Segundo Balbo (2007) há quatro situações para o arranjo de uma estrutura de pavimento com camadas estabilizadas com ligante hidráulico, conforme ilustrado na Figura 9. O caso A

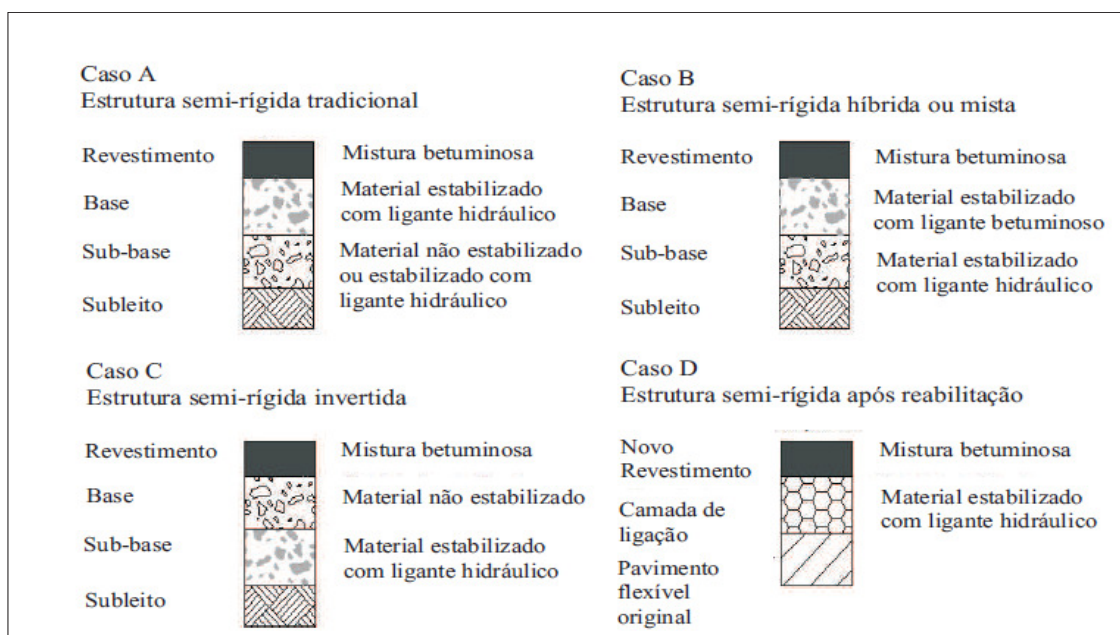
apresenta a estrutura tradicional de pavimento semi-rígido, como designado pelos especialistas rodoviários. O caso B exemplifica uma estrutura designada híbrida ou mista, onde o material estabilizado com ligante hidráulico encontra-se na sub-base do pavimento. O caso C recebe a nomenclatura de pavimento invertido, caracterizado pela presença de base granular sobre a sub-base estabilizada. Por fim, o caso D ilustra uma estrutura de pavimento composta por um antigo, restaurada com sobreposição de outras camadas juntamente com uma camada estabilizada com ligante hidráulico.

Figura 8 – Pavimentação semi-rígida



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.352)

Figura 9 – Diversos tipos de pavimentos semi-rígidos



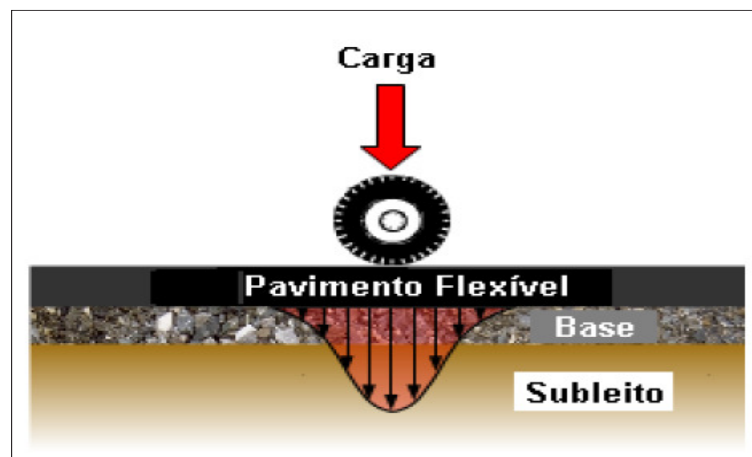
Fonte: Adaptado de Balbo (2007)

2.2.2.3 Pavimento Flexível

No Brasil, a maior parte da extensão da Rede Rodoviária Nacional é formada por pavimentos flexíveis, motivo pelo qual este trabalho contempla ampla abordagem neste âmbito. DNIT (2006, p.95) sintetiza sobre pavimento flexível afirmando que: “[...] é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas”.

No que se refere à sua constituição, esse pavimento apresenta um sistema em camadas com materiais de melhor qualidade no topo, onde a intensidade da carga é maior, ao passo que na base sucede o contrário, devido a dissipação das tensões em profundidade, tal como representado na Figura 10 (HUANG, 2008). Sendo assim, as camadas superiores são formadas por misturas betuminosas, isto é, materiais estabilizados por ligantes hidrocarbonados. Na porção inferior, estão as camadas constituídas por material granular, que assentam em um maciço semi-indefinido designado por fundação (BRANCO; PEREIRA; SANTOS, 2008; PEREIRA; MIRANDA, 1999; PEREIRA, 1971).

Figura 10 – Degradação de tensões no pavimento flexível



Fonte: Francisco (2012, p.52)

Vicente (2006) explica que a existência de duas famílias de materiais distintos deve-se aos diferentes comportamentos mecânicos que apresentam. As camadas betuminosas são dotadas de coesão, e devem ter um módulo de deformabilidade considerável, além de resistir à todos os tipos de esforços: compressão, tração e corte. Tal resistência depende das propriedades das misturas, das variações de temperatura, da ação do tráfego, da ação da água, entre outros (TORRÃO, 2015). Por sua vez, as camadas granulares, cuja resistência depende do atrito interno entre partículas, aferem ao pavimento resistência às tensões de compressão e corte, que são máximos à superfície e reduzem com a profundidade. Tal resistência depende das propriedades das partículas (dimensões, forma, teor em água), da mistura, do escorregamento interpartículas,

entre outros (VIDEIRA, 2014).

A partir de uma análise mais criteriosa, o DNIT (2006) defende que a camada de base pode ser composta por materiais granulares ou estabilizados (com aditivos). Seguindo a mesma classificação, Jimenéz (2007) declara que o pavimento flexível pode ser dividido, segundo o seu comportamento estrutural, em duas subcategorias:

- Pavimento flexível cujo principal elemento estrutural é uma camada de base em mistura betuminosa (Figura 11);
- Pavimento flexível cujo principal elemento estrutural é uma camada de base em material granular (Figura 12).

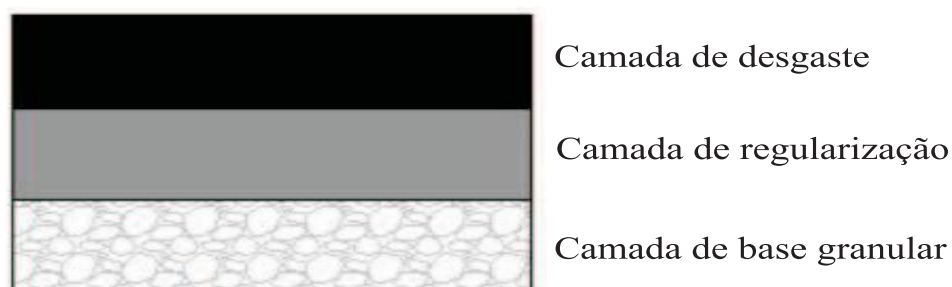
A primeira estrutura é concebida a um tráfego intenso, considerando uma fundação de reduzida capacidade de suporte. A segunda, por sua vez, é concebida para um tráfego reduzido, considerando uma fundação de elevada capacidade de suporte (JAE, 1995).

Figura 11 – Estrutura de pavimento em base betuminosa



Fonte: Autor (2017)

Figura 12 – Estrutura de pavimento em base granular



Fonte: Autor (2017)

As camadas até então referenciadas obedecem a uma ordem decrescente de capacidade estrutural, conforme mencionado anteriormente. A seguir, será descrita cada uma delas.

Camada de Desgaste

É a camada superficial do pavimento, a qual recebe diretamente a ação das cargas verticais e horizontais oriundas do tráfego. Morais (2011) afirma que a camada de desgaste possui espessura variável de 4 a 6 cm, sendo constituída por material betuminoso com agregados de alta resistência, cujo diâmetro médio é de 3 a 4 cm. Conforme LNEC (1962), estes agregados ocupam cerca de 85% a 90% da camada e têm como função resistir ao desgaste imposto pelas solicitações, assim como suportar e transmitir as cargas provenientes do tráfego para a camada de base. O betume constitui o remanescente da camada, ocupando em torno de 10% a 15% da mesma, e tem como função ligar os agregados, tratando-se de um elemento aglutinante e impermeabilizador da camada.

Do ponto de vista funcional, esta camada deve proporcionar um rolamento econômico, seguro e confortável, de forma a permitir aos usuários uma condução cômoda. Para que esses objetivos sejam atingidos, a mesma deve ser provida de uma superfície lisa, regular, não derapante, com reduzida propagação do nível de ruído e com boa aderência entre o pavimento e os pneus dos veículos, o que só é possível a partir da utilização de agregados resistentes ao polimento e com uma formulação adequada da mistura betuminosa para atingir uma eficiente textura na superfície. A nível estrutural, a camada de desgaste tem a função de distribuir as tensões induzidas pelas cargas rolantes às camadas subjacentes bem como impermeabilizar o pavimento, evitando possíveis infiltrações nas camadas inferiores e na fundação (MENDES, 2011).

Nesse contexto, é possível inferir também que uma adequada circulação de tráfego exige boas características geométricas do perfil transversal e da superfície do pavimento. Em termos gerais, essas características estão relacionadas a aspectos como: a regularidade da superfície, o desempenho e a ausência de deformações permanentes (NEVES, 2014). Nessa perspectiva, a escolha de materiais de qualidade adequada é crucial para uma boa compactação, assegurando, consequentemente, a compacidade e estabilidade da camada de desgaste.

Tal camada deve, sobretudo, contribuir para a resistência global da estrutura do pavimento. Dessa forma, faz-se necessário que possua capacidade para suportar os efeitos agressivos do tráfego e do clima, assim como proteger as camadas inferiores das ações climáticas (WATSON, 1989).

Conforme o que foi mencionado sobre os requisitos para uma boa camada de desgaste, demonstra-se, no Quadro 5, o grau de influência das características de superfície face às exigências funcionais da mesma.

Quadro 5 – Influência das características de superfície

			Exigências					
			Segurança	Conforto	Economia	Meio Ambiente		
Características Superficiais			Aderência		XXXX	-	XX	X
			Regularidade	Longitudinal	XX	XXXX	XXX	XX
Transversal	XXX	XX		X	-			
Resistência ao regulamento			-	-	XX	-		
Ruído pneu/pavimento			-	XXX	-	XXXX		
Propriedades rectoras			XX	XX	XX	-		

XXXX	Influência determinante
XXX	Grande influência
XX	Influência moderada
X	Pouca influência

Fonte: LNEC (1962)

De acordo com os resultados expressos no Quadro 5, é possível assegurar que:

- A aderência é fundamental para a segurança do tráfego de veículos;
- A regularidade da superfície é crucial para garantir o conforto do condutor;
- Uma superfície regular está aliada também à economia, o que está diretamente atrelada ao consumo de combustível, ao desgaste dos veículos e ao tempo de viagem;
- O ruído resultante da circulação de veículos influencia diretamente nas questões ambientais e no conforto do usuário (LNEC, 1962).

Diante de todo o exposto, infere-se que a camada de desgaste está sujeita a ser afetada por vários agentes atmosféricos e de tráfego. Nesse entrave, a mesma deve ser dotada de condições de tal forma a resistir a todas essas ações, bem como cumprir adequadamente as suas funções, assegurando, simultaneamente, qualidades como: óticas, anti-derrapantes e anti-ruído (BRANCO; PEREIRA; SANTOS, 2008).

Camada de Regularização

É a porção que encontra-se imediatamente sob a camada de desgaste, sendo constituída por material betuminoso, no entanto com materiais mais pobres, quer de betume quer dos agregados. Sua espessura varia de 5 a 12 cm (MORAIS, 2011). Trata-se de uma camada que deve formar uma superfície mais regular e desempenhada, de forma que a camada de desgaste seja assentada com ausência de problemas.

A camada de regularização também contribui para a resistência global da estrutura, garantindo uma boa execução da camada de desgaste. Tem funções comuns à todas as camadas

betuminosas de suporte: redistribuir e transferir as tensões induzidas pelo tráfego na camada de desgaste para as camadas subjacentes. Tal camada, conforme mostrado pela literatura estudada, é composta geralmente por macadame betuminoso (ALVES, 2007; SANTOS, 2009; JAE, 1995).

Camada de Base

Na generalidade dos pavimentos, é a camada mais importante a nível estrutural. Situa-se entre as camadas betuminosas e a subbase, e apresenta espessura elevada, variável entre 15 e 30cm, a qual depende do tipo de tráfego e da resistência do solo de fundação. Essa camada exerce a função de degradação das tensões induzidas pelo tráfego, de forma que a capacidade de suporte das camadas subjacentes não seja excedida (O'FLAHERTY, 1986). Permite, ainda, que o solo de fundação suporte a trafegabilidade, ao homogeneizar as características mecânicas da superfície de circulação em obra (SILVA, 2005).

A camada de base é composta por materiais granulares não ligados de granulometria extensa e/ou por misturas betuminosas. Reis (2009) explica que geralmente a adição de ligantes hidráulicos ou betuminosos é realizada para situações de tratamentos, exemplificando o caso de bases de macadame betuminoso.

O pavimento com base em materiais granulares caracteriza-se por receber uma ou mais camadas de misturas betuminosas, como tratamento superficial, com espessura total inferior a 15 cm. Neste tipo de pavimento, a base trabalha necessariamente por atrito interno entre as partículas do seu esqueleto mineral, uma vez que a resistência ao desgaste por atrito dos agregados é propriedade essencial. Ao se empregar agregados pouco resistentes, ocorre a produção de finos em excesso, o que acarreta no aumento da deformabilidade da camada (JIMENÉZ, 2007).

Vários são os mecanismos de degradação aos quais estes pavimentos estão sujeitos. A deformação excessiva, por exemplo, resulta da aplicação de camadas betuminosas sobre a base granular em espessuras reduzidas (tipicamente abaixo de 40 mm). Como consequência das sucessivas aplicações de cargas, o pavimento deforma-se até alcançar limites inaceitáveis, formando as rodeiras (Figura 13). Por sua vez, quando as camadas betuminosas são aplicadas em espessuras superiores a 40 mm e as camadas subjacentes de materiais granulares possuem alguma deformabilidade, o pavimentos pode atingir a ruína por fendilhamento por fadiga (Figura 14), resultado da repetida aplicação de esforços de tração induzidos no revestimento betuminoso pela passagem dos veículos pesados (ESTEVES, 2006).

Para além dos mecanismos de degradação anteriormente mencionados, há outros tipos de ruínas que originam-se na superfície desse tipo de pavimento e que podem ter repercussões negativas sobre o nível de serviço prestado aos usuários. Dentre esses, cabe destacar (JIMENÉZ, 2007):

- Perda de micro e macrotextura;

- Ninhos e peladas;
- Desagregação superficial (desprendimento de agregados);
- Deformações da camada de desgaste (rodeiras, ondulações da superfície, deslizamento da camada).

Figura 13 – Rodeiras por deformação excessiva



Fonte: Dresch (2014, p.33)

Figura 14 – Fendilhamento por fadiga

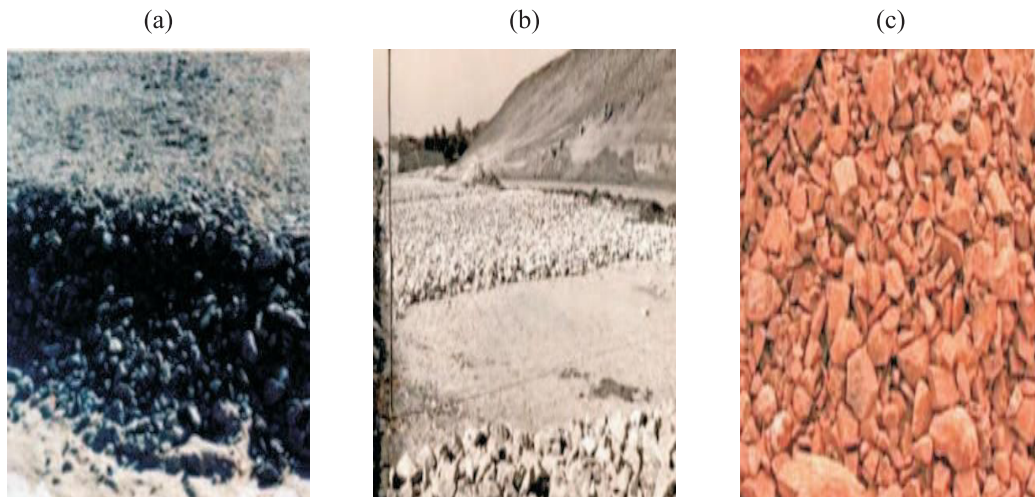


Fonte: Coelho (2009, p.59)

Dentre os granulares que comumente são utilizados na camada de base, destacam-se: a brita graduada simples 15 (a), o macadame hidráulico 15 (b), e o macadame a seco 15 (c), conforme observado na Figura 15 (BERNUCCI et al., 2008). É importante ressaltar que outros

materiais decorrentes da reutilização e da reciclagem têm uso notório e crescente na pavimentação: a escória de alto-forno, o agregado reciclado de resíduo sólido de construção civil, os rejeitos de extração de rochas ornamentais, a mistura asfáltica fresada, dentre outros.

Figura 15 – Tipos de granulares:(a) Brita graduada simples, (b) Macadame Hidráulico e (c) Macadame seco



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.353)

O pavimento com base em misturas betuminosas, o qual é empregado em auto-estradas e itinerários, constitui-se por camadas betuminosas com espessura igual ou superior a 150 mm, aplicadas sobre camadas granulares não ligadas. Nesse tipo de pavimento, a base trabalha em flexão diminuindo significativamente o nível das tensões transmitidas à fundação, quando a sua rigidez é relativamente elevada. Para este caso, o principal mecanismo de ruína é o fendilhamento por fadiga, ilustrado anteriormente. Entretanto, quando esta camada apresenta comportamento mais flexível, é preponderante a ruína por deformação excessiva (JIMENÉZ, 2007).

Outro mecanismo de degradação a considerar neste tipo de pavimento é o fendilhamento por retração térmica, corrente em períodos de climas muito frio (Figura 16). Não obstante, destaca-se o fendilhamento em malha larga (Figura 17), que pode ser associado à deficiências de formulação das misturas betuminosas ou à falta de ligação entre estas camadas e as camadas granulares subjacentes (TORRÃO, 2015).

Existem vários tipos de misturas betuminosas aplicáveis à camada de base de um pavimento flexível, dentre as quais destaca-se o Macadame Betuminoso. Trata-se de uma mistura betuminosa a quente cujo princípio é a reabilitação estrutural, onde é aplicada como camada de base. A aplicação da mesma deve ser feita para espessuras superiores a 8 cm e inferiores a 15 cm, e não pode ser sujeita às ações do tráfego de obra durante um período significativo, sob o risco de sofrer danos nas características mecânicas e consequente comprometimento da sua capacidade estrutural. Trata-se de uma mistura elevada boa capacidade de suporte, o que faz dela uma técnica preterida em termos de reabilitação estrutural (TORRÃO, 2015).

Figura 16 – Fendilhamento longitudinal por retração térmica



Fonte: Dresch (2014, p.24)

Figura 17 – Fendilhamento em malha larga



Fonte: Danieleski (2004, p.44)

Camada de sub-base

A camada de sub-base, utilizada para reduzir a espessura da base e de resistência menor, situa-se entre esta e a camada de fundação, com espessura variável de 15 a 20 cm, a depender do tipo de tráfego e da resistência do solo de fundação (BRANCO; PEREIRA; SANTOS, 2008). É composta por materiais granulares de granulometria extensa e tem como funções receber os esforços provenientes da camada de base e redistribuí-los para a fundação (REIS, 2009).

Ademais, a mesma possibilita a compactação da base em boas condições, garante a trafegabilidade do equipamento de obra e possui função drenante, funcionando como barreira à ascensão da água capilar e protegendo as camadas nobres do pavimento (AZEVEDO, 2005).

Leito do pavimento

É a camada de transição entre o solo de fundação e o corpo do pavimento. Sua constituição é formada por materiais granulares não tratados ou tratados com ligantes hidráulicos (cal ou cimento). Ocasionalmente, adota-se a utilização conjunta com geotêxteis, os quais possuem função drenante e impedem a contaminação de outras camadas pelos finos (INIR, 2009).

O leito da pavimento atenua os problemas subsequentes da heterogeneidade dos materiais de fundação, possibilita a compactação da base e da subbase e evita a deformação do solo. A curto prazo, o seu emprego permite a traficabilidade dos equipamentos de obra bem como protege o de fundação contra a ação dos agentes atmosféricos. A longo prazo, garante uma capacidade de suporte do pavimento adequada aos valores de dimensionamento, resguarda o solo sensível contra a ação do gelo, impede a ascensão capilar da água no sub-solo e evita a contaminação da base e subbase pelos finos do solo (VICENTE, 2006).

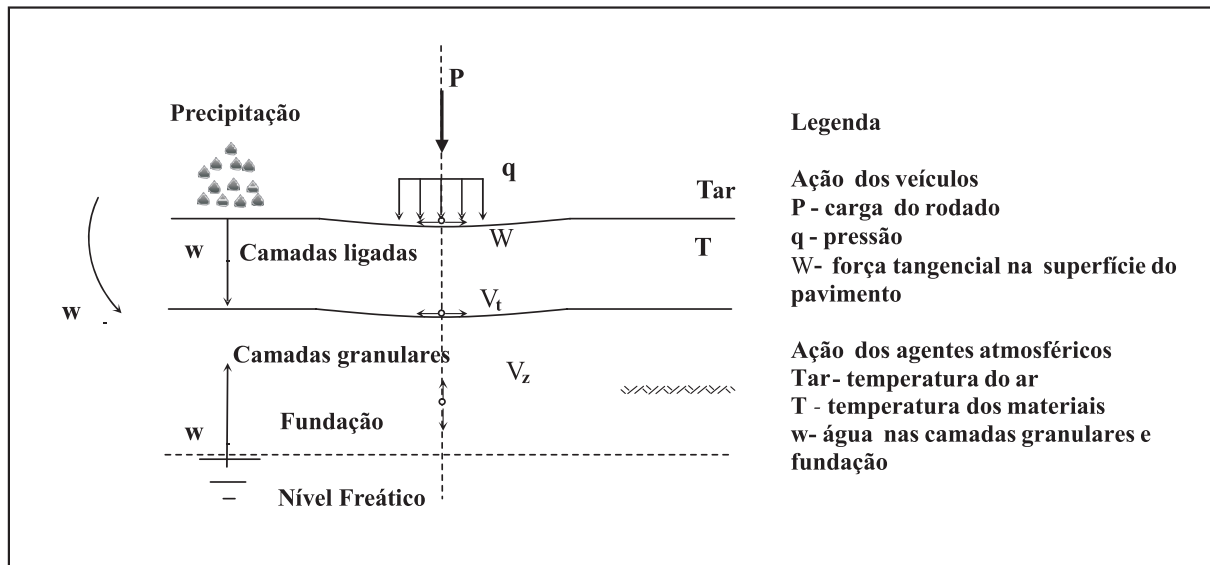
Terreno de Fundação

É o material natural da região que dá suporte ao pavimento, sendo as características do terreno que condicionam as características do mesmo. A fundação pode ser constituída por diversos tipos de solos ou rochas. Entretanto, no caso da existência de solos finos e plásticos, há a possibilidade de insuficiência de suporte de tráfego e mínima capacidade de carga quando em presença de água, tanto a curto como a longo prazo. O terreno de fundação deve ser considerado e estudado até as profundidades em que atuam significativamente as cargas impostas pelo tráfego (AZEVEDO, 2005).

No entanto, a existência de um bom solo de fundação ou a adoção de técnicas de melhorias do processo construtivo podem resultar na supressão de algumas camadas, ou ainda, na redução de espessura da camada de regularização ou a camada de sub-base, por exemplo. O comportamento flexível dessa categoria de pavimento, por sua vez, é determinada pelo número e espessura de suas camadas, pelas características dos materiais e da fundação, sendo afetado pelo estado de conservação e pelas ações atuantes.

Nessa perspectiva, é importante salientar que as ações atuantes no pavimento flexível podem ser divididas em dois grupos: as resultantes do tráfego rodoviário e as geradas pelos agentes climáticos, tal como representado na Figura 18. Sendo assim as camadas inferiores do pavimento flexível devem ser permeáveis, para que a água infiltrada no pavimento saia facilmente. E as camadas betuminosas, nomeadamente a camada de desgaste deve ser impermeável à água.

Figura 18 – Representação esquemática das solicitações em um pavimento flexível



Fonte: Silva (2005, p.11)

2.3 Misturas Asfálticas

Em um pavimento flexível, as misturas asfálticas são utilizadas no revestimento do mesmo, tornando-o a camada mais nobre da estrutura. Afinal, é ela a responsável por receber diretamente as ações do tráfego e as ações climáticas. Nesse contexto, o revestimento deve ser tanto quanto possível impermeável e resistente aos esforços de contato pneu-pavimento em movimento, que são variados conforme a carga e a velocidade dos veículos.

Bernucci et al. (2008) explanam que:

Na maioria dos pavimentos brasileiros usa-se como revestimento uma mistura de agregados minerais, de vários tamanhos, podendo também variar quanto à fonte, com ligantes asfálticos que, de forma adequadamente proporcionada e processada, garante ao serviço executado os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previstos para o local. (BERNUCCI et al., 2008, p.157).

Estudos realizados por Ceratti e Nuñez (2011) apontam que estas misturas são compostas por materiais granulares, materiais de enchimento e ligante asfáltico, misturados em proporções pré-definidas no projeto da mistura. O ligante possui função aglutinante, permitindo a ligação entre os componentes da mistura e atribuindo às camadas betuminosas uma resistência que se contrapõe à ação de desagregação causada pela passagem do tráfego de veículos; ademais, possui função impermeabilizante, impedindo a infiltração de água nas camadas inferiores do pavimento, evitando possíveis danos à estrutura.

O comportamento da mistura é gerido pelas propriedades dos seus elementos e pelo modo como interatuam. Dessa forma, a mistura asfáltica pode apresentar comportamento elástico de um sólido associado ao comportamento viscoso do líquido devido à presença do ligante, resultando em propriedades termoviscoelásticas, onde o estado de deformação é influenciado pela temperatura e pelo tempo de aplicação da carga. E seu rompimento pode ocorrer por trincamento, fadiga, deformação permanente ou por uma combinação desses mecanismos de degradação quando a mistura é submetida a carregamento repetido (BALAGUER, 2012).

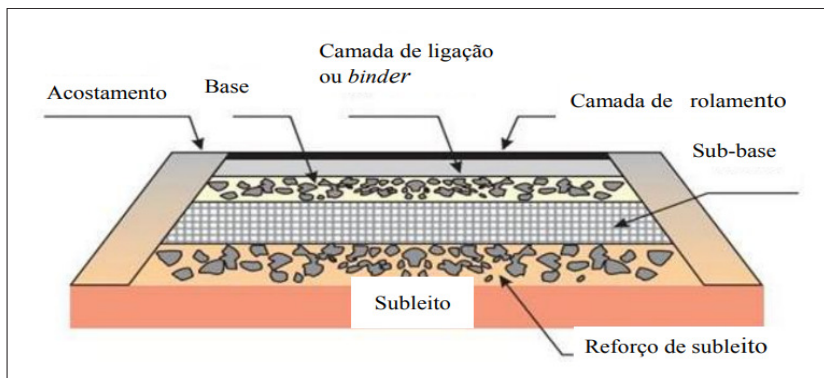
Torna-se importante salientar que a caracterização dos materiais empregados na pavimentação é de complexa determinação em função dos fatores que influenciam seu comportamento no campo, tais como fatores climáticos (umidade do ar, temperatura e regime de ventos), fatores referentes ao carregamento do tráfego (frequência e magnitude), além do estado de tensões ao qual os materiais estão submetidos. Em detrimento das misturas asfálticas, a dificuldade é majorada em função do envelhecimento progressivo gerado pela oxidação do ligante, visto que tal fenômeno é de difícil simulação em laboratório. Haja vista que apenas uma parcela das variáveis que influenciam o comportamento destes materiais podem ser analisadas simultaneamente, os aspectos mais relevantes são considerados na previsão do comportamento das misturas asfálticas no campo (BERNUCCI et al., 2008; CHEN et al., 2004).

Pinto e Preusler (2010) abordam que conforme a posição relativa e função na estrutura, as misturas asfálticas subdividem-se em camadas, conforme mostrado na Figura 19, que devem atender à atributos específicos em sua formulação, recebendo geralmente as seguintes designações:

- Camada de rolamento ou capa asfáltica: é a camada superior da estrutura, estando exposta ao recebimento dos carregamento provenientes do tráfego. A mistura utilizada deve apresentar estabilidade e flexibilidade compatíveis com o funcionamento elástico da estrutura e rugosidade da superfície, de forma a propiciar segurança ao tráfego;
- Camada de ligação ou binder: camada inferior à da capa. Apresenta, em relação à mistura utilizada na camada de rolamento, diferenças de comportamento decorrentes da utilização de agregados de maior diâmetro, de maior percentagem de vazios e menor relação betume-vazios;
- Camada de nivelamento ou regularização: camada executada com massa asfáltica de gradação fina, cuja função é corrigir deformações de superfícies antigas

Um projeto adequado da estrutura do pavimento somado ao projeto de dosagem da mistura asfáltica, compatível com as camadas escolhidas, são as condições para que sejam atendidos as exigências técnicas e de qualidade de um revestimento asfáltico. Comumente, o revestimento asfáltico de um pavimento novo consiste de uma única camada de mistura asfáltica, limitando-se a determinado volume de tráfego, como pode-se observar na Figura 20.

Figura 19 – Camadas do Revestimento Asfáltico



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.356)

Figura 20 – Exemplos de Pavimento novo com Revestimento Asfáltico



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.157)

O material de revestimento não requer uma fabricação fixa, podendo ser produzido em usina específica (misturas usinadas), fixa ou móvel, ou preparado na própria pista (tratamentos superficiais), conforme será descrito nos itens 2.3.1 a 2.3.4. Os revestimentos são identificados também quanto ao tipo de ligante: a quente com o uso de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), ou a frio com o uso de Emulsão Asfáltica de Petróleo (EAP).

2.3.1 Misturas Usinadas

Refere-se à fusão, convenientemente proporcionada de agregados e ligante realizada em usina estacionária seguida pelo seu transporte até a pista, onde é lançada por equipamento apropriado, denominado vibroacabadora. Por conseguinte, a mistura é compactada até atingir um grau de compressão tal que resulte em um arranjo estrutural estável e resistente às deformações permanentes e elásticas repetidas da passagem de veículos (BERNUCCI et al., 2008). Estas misturas estão divididas em dois grupos: misturas a quente, que distinguem-se em vários

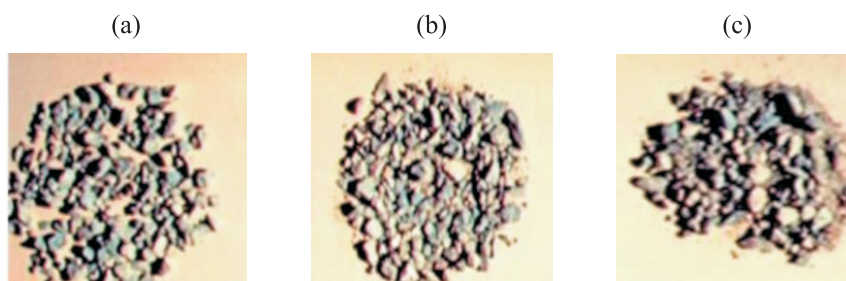
tipos de acordo com o padrão granulométrico empregado; e os pré-misturados a frio, em que se empregam as emulsões asfálticas como ligante para envolver os agregados.

2.3.1.1 Misturas Usinadas a Quente

As misturas a quente distinguem-se em vários tipos de acordo com o padrão granulométrico dos agregados empregados, de acordo com o apresentado na Figura 21. Conforme o *United States Army Corps of Engineers (USACE, 2000)*, essa divisão sucede da seguinte forma:

- Graduação densa: apresenta curva granulométrica contínua e bem-graduada. O Caracteriza-se por formar um esqueleto mineral com poucos vazios, uma vez que os agregados de dimensões menores preenchem os vazios dos maiores. Exemplo: Concreto asfáltico (CA);
- Graduação aberta: apresenta curva granulométrica uniforme com agregados aproximadamente do mesmo tamanho. Caracteriza-se por formar um esqueleto mineral com muitos vazios interconectados, cuja insuficiência de material fino (menor que 0,075 mm) não preenche os vazios entre as partículas maiores. Dessa forma, o elevado volume de vazios com ar torna a mistura drenante, possibilitando a percolação de água no interior da mesma. Exemplo: Mistura asfáltica drenante ou Camada porosa de atrito (CPA);
- Graduação descontínua: apresenta curva granulométrica cuja constituição dominante é dos grãos de maiores dimensões em comparação aos grãos de dimensões intermediárias. Estes são completados por certa quantidade de finos, de forma a ter uma curva descontínua em certas peneiras, com o objetivo de tornar o esqueleto mineral resistente à deformação permanente com o maior número de contatos entre os agregados graúdos. Exemplo: Matriz pétrea asfáltica (*Stone Matrix Asphalt – SMA*) e mistura sem agregados de certa graduação (*Gap-graded*).

Figura 21 – Composições granulométricas (a) aberta; (b) descontínua; (c) densa



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.160)

Nesta mesma classe, destaca-se o CA, também denominado Concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), o tipo de mistura a quente mais utilizada no Brasil em locais de tráfego

pesado. Compõe-se por agregados de tamanhos variados e cimento asfáltico dosados e aquecidos em função da viscosidade almejada. Senço (1997) destaca que o CBUQ é o principal selecionado para vias expressas pois consiste na mistura íntima de agregado, satisfazendo rigorosas especificações, e betume devidamente dosado.

Dentro do grupo das misturas a quente, ganham notoriedade ainda as argamassas asfálticas, denominadas Areia asfalto usinada a quente (AAUQ), comumente utilizada como revestimento de rodovias com volume de tráfego médio ou baixo (WALKER; HICKS, 1976). Em locais onde não existem agregados pétreos graúdos, utiliza-se como revestimento asfáltico uma argamassa de agregado miúdo, cuja composição agrega: areia, ligante (CAP) e filer, em alguns casos.

2.3.1.2 Misturas Usinadas a Frio

São a segunda classe de misturas fabricadas em estacionárias próprias. Os Pré-misturados a frio (PMFs) compõem-se de agregados minerais graduados, material de enchimento (filer) e EAP, espalhada e comprimida a frio (DNER, 1997). A depender da região da obra, são utilizadas para misturar os PMFs: usinas de solo ou de brita graduada, usinas de concreto asfáltico sem ativar o sistema de aquecimento dos agregados, usinas de pequeno porte com misturadores tipo rosca sem fim, ou usinas horizontais dotadas de dosadores especiais (PETRÓLEO, 1976).

Bernucci et al. (2008) afirmam que a principal aplicação dos PMFs é como revestimento de ruas e estradas de baixo volume de tráfego, ou ainda como camada intermediária (com CA superposto) e em operações de conservação e manutenção. Sua classificação conforme a granulometria dos agregados empregados define-se em (SANTANA, 1992):

- Graduação densa: contínua e bem-graduada. Contém agregados graúdo, miúdo e de enchimento, ficando com baixo volume de vazios após a compactação;
- Graduação aberta: com pequena ou nenhuma quantidade de agregado miúdo e com pouco ou nenhum filer, ficando com elevado volume de vazios após a compactação;
- Graduação semidensa: com quantidade intermediária de agregado miúdo e pouco filer, ficando, após a compactação, com um volume de vazios intermediário.

Conforme abordado pela Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (ABEDA, 2010), os PMFs podem ser usados em camada de 30 a 70 mm de espessura compactada, dependendo da granulometria da mistura e do tipo de serviço executado. No caso de espessuras maiores, a mistura deve ser compactada em duas camadas, devidamente espalhadas e compactadas à temperatura ambiente. Este espalhamento deve ser feito com vibrocabadora ou motoniveladora, uma vez que é o procedimento adequado para pavimentação urbana de ruas de pequeno tráfego. Ademais, é admissível o estoque da mistura durante um dia inteiro de programação de serviços de conservação de vias.

As vantagens técnicas da utilização de misturas a frio relacionam-se à simplicidade dos equipamentos, à trabalhabilidade na temperatura ambiente e à boa adesividade com praticamente todos os agregados britados (SANTANA, 1992). Acrescentam-se também a estas vantagens, a possibilidade de estocagem da mistura e sua elevada flexibilidade.

2.3.2 *Misturas In Situ*

Refere-se às misturas processadas em usinas móveis especiais que promovem a mistura agregados-ligante imediatamente antes de sua disposição pavimento. São os casos de selagem e restauração das características funcionais, principalmente. Caracterizam-se por serem misturas fluidas, tais como a lama asfáltica e o microrrevestimento (ABEDA, 2010).

As lamas asfálticas se resumem a uma mistura de consistência fluida composta por agregados minerais, material de enchimento, emulsão asfáltica e água, uniformemente espalhada no local da obra à temperatura ambiente. Sua aplicação é realizada em camada de selagem, impermeabilização e em manutenção de pavimentos, especialmente nos revestimentos com desgaste superficial ou com pequeno grau de trincamento, em vias secundárias, conforme ilustrado na Figura 22 (DNIT, 2010b).

Figura 22 – Aplicação de lama asfáltica em um trecho de via urbana



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.193)

No que concerne ao microrrevestimento asfáltico, trata-se de uma técnica aperfeiçoada da lama asfáltica. Utiliza o mesmo princípio e concepção, diferenciando-se pelo uso de emulsões modificadas com polímero a fim de aumentar a vida útil da camada. O microrrevestimento é também processada em usina móvel especial, compondo-se de agregados minerais, fíler, água, emulsão com polímero e eventual adição de fibras (ABNT, 2003; SENÇO, 1997).

Bernucci et al. (2008) afirmam que existem vantagens em se aplicar o microrrevestimento com emulsão asfáltica de ruptura controlada modificada por polímero, já que tal emulsão é preparada de tal forma que a mistura com os agregados ocorra de forma quase lenta seguida de uma ruptura rápida para a liberação do tráfego em pouco tempo. O microrrevestimento é útil para restauração funcional (Figura 23), capa selante, camada intermediária anti-reflexão de

trincas em projetos de reforço estrutural, camada de revestimento final de pavimentos flexíveis ou rígidos, bases granulares ou recicladas, dentre outras aplicações (REIS, 2010).

Figura 23 – Aplicação de microrrevestimento como restauração funcional em rodovia



Fonte: Zagonel (2013, p.82)

2.3.3 Misturas Asfálticas Recicladas

A reciclagem de pavimentos é o processo de reutilização de misturas asfálticas envelhecidas e deterioradas, por meio da fresagem (Figura 24), e a subsequente produção de misturas novas, aproveitando os agregados e ligantes remanescentes com acréscimo de aglomerantes hidráulicos ou agentes rejuvenescedores. Dentre estes, destacam-se a emulsão modificada com agente rejuvenescedor - ARE (Figura 25), a espuma de asfalto (Figura 26), o CAP ou EAP novos (MOREIRA H. S. AND SILVEIRA, 2003). A Associação de Reciclagem Asfáltica dos Estados Unidos define cinco métodos diferentes de reciclagem (KANDHAL et al., 1997):

- Reciclagem a frio (*Cold planning*);
- Reciclagem a quente (*Hot recycling*);
- Reciclagem a quente *in situ* (*Hot in place recycling*);
- Reciclagem a frio *in situ* (*Cold in place recycling*);
- Reciclagem de camadas do pavimento (*Full depth reclamation*).

Normalmente os agregados da mistura antiga mantêm as suas características físicas e de resistência mecânica intactas, enquanto o ligante asfáltico tem suas características alteradas, tornando-se mais viscoso nessa condição. É possível reaproveitar integralmente o material triturado pelas fresadoras e recuperar as características do ligante com a adição dos rejuvenescedores (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 24 – Processo de fresagem à frio de um pavimento



Fonte: Souza (2009, p.44)

Figura 25 – Reciclagem *in situ* com espuma de asfalto



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.189)

Figura 26 – Reciclagem *in situ* com emulsão rejuvenescedora ARE

Fonte: Santana (1992, p.78)

Reis (2013) declara que a utilização da técnica de reciclagem apresenta vantagens tais como a economia de materiais pétreos e a preservação ambiental. Por sua vez, a obra se torna viável, fazendo-se desnecessária a utilização de novos materiais pétreos e asfálticos. A autora afirma ainda que a reciclagem de pavimentos evita o abuso das áreas de exploração e, portanto, a execução desta técnica assegura a questão ambiental. A reutilização de materiais reciclados vem ganhando cada vez mais espaço na obras de pavimentação e esta evolução tecnológica é alcançada em consonância com o meio ambiente, de forma que o material retirado seja reutilizado, não havendo desperdício de materiais.

O Asphalt Institute (1989) assegura que a reciclagem se faz necessária mesmo em locais onde os agregados pétreos são abundantemente encontrado, pois é possível reduzir o custo referente ao transporte de materiais. David (2006) afirma que outro motivo que torna a referida técnica atrativa é a ausência de local adequado para o depósito de material removido do pavimento deteriorado, principalmente devido a restrições impostas pela legislação ambiental.

2.3.4 Tratamentos Superficiais

Consistem na aplicação de ligantes asfálticos em agregados sem o processo da mistura prévia, com posterior aplicação e compactação na pista, de forma a ocasionar o recobrimento parcial e a adesão entre agregados e ligante (Figura 27). Segundo ABEDA (2010), o termo Tratamento superficial (TS) engloba uma ampla variedade de serviços rodoviários, destacando-se os executados a frio no local, devido a sua simplicidade de aplicação, economia de energia no processo e nas operações de transporte e estocagem de materiais.

Figura 27 – Aplicação de tratamento superficial duplo na BR 468/RS



Fonte: Zagonel (2013, p.88)

O Tratamento superficial por penetração é definido como o revestimento flexível de pequena espessura, executado por espalhamento sucessivo de ligante betuminoso e agregado, em operação simples ou múltipla. Na primeira, o tratamento inicia-se pela aplicação única do ligante, que será coberto por uma única camada de agregado. O ligante penetra de baixo para cima no agregado (penetração “invertida”). Na segunda, o tratamento múltiplo inicia-se pela aplicação do ligante que penetra de baixo para cima na primeira camada de agregado, enquanto a penetração das seguintes camadas de ligante é tanto “invertida” como “direta”. A espessura acabada é da ordem de 5 a 20 mm (LARSEN, 1985)

Estudos realizados por Buhler (2003) afirmam que uma das primeiras aplicações de tratamento superficial ocorreu na avenida *Champs - Elysées* em Paris, em 1840, por esse motivo tal técnica é uma das mais antigas da história da pavimentação. Trata-se de um método de baixo custo de implantação e execução, motivo pelo qual tem sido amplamente empregado ao longo dos anos nas rodovias brasileiras.

Ainda de acordo com o autor, o Tratamento superficial é uma técnica de construção e reabilitação de pavimentos asfálticos que, embora tenha pouca capacidade estrutural direta, possui benefícios indiretos que prolongam a vida útil do pavimento aumentando sua capacidade estrutural. Sua aplicação é destinada para rodovias de baixo ou médio volume de tráfego. Os tipos desta técnica dividem-se em:

- TSS: Tratamento superficial simples;
- TSD: Tratamento superficial duplo;
- TST: Tratamento superficial triplo.

Dentre as principais funções do tratamento superficial, ganham destaque a adequação de uma camada de rolamento de pequena espessura e de alta resistência ao desgaste, a impermeabilização do pavimento e consequente proteção de sua infraestrutura, a obtenção de um revestimento de alta flexibilidade e antiderrapante que acompanha as deformações da estrutura. Outrossim, é uma técnica extensamente utilizada na recuperação de superfícies de rolamento degradadas e que ainda se encontram em boas condições estruturais.

2.4 Terminologia dos Defeitos em Pavimentos Flexíveis

Os pavimentos flexíveis, ao longo dos anos em serviço, desenvolvem degradações que conduzem a uma diminuição da sua qualidade estrutural e funcional. Essas degradações são ocasionadas pelas ações do tráfego e condições climáticas, as quais originam solicitações na estrutura que alteram as suas características iniciais. A sucessiva repetição destas condições, por sua vez, ocasiona a deterioração do pavimento.

Conforme Ferreira (2007), há um segundo fator crucial para o surgimento de degradações: a inadequação do material ao uso, podendo este fenômeno ter origem em deficiências de projeto, drenagem mal concebida, materiais de qualidade duvidosa e colocação em obra deficiente. O desenvolvimento precoce de degradações é um indicador de que alguma etapa foi mal realizada, o que acarreta na ocorrência de futuras patologias.

O processo de evolução das degradações, aparentes ou não, apoia-se numa cadeia de consequências. Uma degradação evolui ou origina novos tipos, que, por sua vez, interferem com as características das degradações iniciais, aumentando a percentagem de patologias existentes, tanto em extensão como em gravidade (VIDEIRA, 2014).

Azevedo (2005) classifica as degradações em dois tipos: estruturais e superficiais. Estas afetam o comportamento funcional da superfície do pavimento. Aquelas traduzem-se pelo aparecimento de defeitos à superfície, devido à falta de capacidade de carga do solo de fundação. A evolução destes defeitos, por sua vez, conduz à perda das características superficiais, reduzindo as condições de segurança e conforto de circulação dos usuários.

Considera-se assim o processo de deterioração de um pavimento dependente de dois grupos de fatores: os fatores passivos e os fatores ativos. Os primeiros dependem das particularidades do pavimento, nomeadamente das espessuras, do material e da qualidade de construção. Já os fatores ativos dependem das ações do tráfego e do clima e são os principais responsáveis pelo surgimento dos defeitos (PEREIRA; MIRANDA, 1999). Não obstante, as péssimas condições de drenagem, a má qualidade dos materiais empregues, bem como o sub-dimensionamento da camada de desgaste ou camadas inferiores também são consideradas possíveis causas do surgimento e evolução das deformações em pavimentos flexíveis.

Estudos apontam que o levantamento dos defeitos de superfície avalia a condição de conservação do pavimento e verifica a sua funcionalidade. De posse do parecer técnico, torna-se

possível apresentar uma solução técnica viável, apontando a melhor alternativa de recuperação do pavimento (ALBANO, 2005; BALBO, 2007; BRANCO; PEREIRA; SANTOS, 2008).

Na fase de levantamento de dados em campo, avaliadores têm encontrado dificuldades relacionadas à identificação e medição dos defeitos de pavimentos. Nessa perspectiva, enfatiza-se que o reconhecimento bem como a compreensão dos conceitos referentes à terminologia de cada um é crucial para a correta identificação dos mesmos. Vários manuais têm sido elaborados buscando uniformizar a nomenclatura, as definições e os métodos de medição dos defeitos de superfície. Entretanto, a literatura especializada apresenta uma diversidade de classificações, seja por sua morfologia ou por sua gênese.

De uma forma geral, os defeitos de pavimentos dividem-se em quatro famílias: deformações, fendilhamento, desagregação da camada de desgaste e movimentação de materiais. O Quadro 6 mostra os tipos de defeitos pertencentes a cada uma delas (JIMENÉZ, 2007; PEREIRA; MIRANDA, 1999; VICENTE, 2006).

Quadro 6 – Famílias e tipos de degradações

Família de degradações	Tipos de degradações		
Deformações	Abatimento	Longitudinal	Eixo Berma
		Transversal	
	Deformações localizadas		
	Ondulações		
	Rodeiras	Grande raio (camadas inferiores) Pequeno raio (camadas superiores)	
Fendilhamento	Fendas	Fadiga	
		Longitudinais	Eixo Berma
		Transversais	
		Parabólicas	
	Pele de crocodilo	Malha fina Malha grossa	
Desagregação da camada de desgaste	Desagregação superficial Cabeça de gato Pelada Ninhos/covas		
Movimento de materiais	Exsudação Subida de finos		

Fonte: Branco, Pereira e Santos (2008)

JAE (1995) acrescenta que as reparações na camada de desgaste também são consideradas patologias, uma vez que geram descontinuidades no pavimento, tornando-o sujeito ao surgimento de mais defeitos. Por outro lado, AASHTO (1993) ressalta que o desnível entre pista e acostamento assim como o polimento dos agregados são outras formas de deterioração que devem ser consideradas em levantamentos de campo.

A norma DNIT-TER 005/2003 (DNIT, 2003a), em substituição à norma DNER-TER

001/78, classifica os defeitos de pavimento em oito categorias: Fendas, Afundamentos, Ondulação ou Corrugação, Escorregamento, Exsudação, Desgaste, Panela ou Buraco e Remendo. Trata-se da mais recente norma brasileira amplamente utilizada em avaliação de qualidade de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. O Quadro 7 contempla a classificação e a codificação de cada patologia. A descrição dos defeitos é realizada nos tópicos 2.4.1 a 2.4.8.

Quadro 7 – Defeitos de pavimentos e os respectivos códigos adotados pelo DNIT

Tipo de defeito		Código DNIT
Fissura	Fendas	FI
Trinca isolada transversal curta		TTC
Trinca isolada transversal longa		TTL
Trinca isolada longitudinal curta		TLC
Trinca isolada longitudinal longa		TLL
Trinca de retração		TRR
Trinca interligada “couro de jacaré” sem erosão		J
Trinca interligada “couro de jacaré” com erosão		JE
Trinca interligada de bloco sem erosão		TB
Trinca interligada de bloco com erosão		TBE
Afundamento plástico local		Afundamentos
Afundamento de consolidação local	ALC	
Afundamento plástico em trilha de roda	ATP	
Afundamento de consolidação em trilha de roda	ATC	
Corrugação ou ondulação	Corrugação	O
Desgaste	Desgaste	D
Escorregamento	Escorregamento	E
Exsudação	Exsudação	EX
Panela	Panela	P
Remendo superficial	Remendos	RS
Remendo profundo		RP

Fonte: DNIT (2003a)

2.4.1 Fendas

O fenômeno de ocorrência de fendas é designado por fendilhamento. Trata-se de qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, resultado da repetição de esforços de tração nas camadas betuminosas, que leva a uma ruptura prematura da estrutura podendo causar a diminuição da qualidade estrutural do pavimento. Outros fatores que influenciam no seu desenvolvimento são: as condições climáticas, o tráfego, as propriedades das misturas e a qualidade de construção. Nesta família de defeitos integram-se as fissuras e as trincas transversais, longitudinais, de retração e interligadas, as quais diferenciam-se em função da abertura apresentada.

Fissuras

São fendas incipientes e incapazes de causar problemas funcionais ao revestimento. Dessa forma, não são consideradas quanto à gravidade nos métodos atuais de avaliação das condições de superfície (DNIT, 2003a).

Trincas Transversais

Fendas perpendiculares ao eixo da via, isoladas ou com um espaçamento variável, abrangendo parte ou toda a largura da faixa de rodagem (EP, 2008). Ilustra-se na Figura 28 este tipo de deformação. Quando a fenda apresenta extensão de até 100 cm é denominada de trinca transversal curta (TTC); quando a extensão é superior a este limite, denomina-se trinca transversal longal (TTL).

Figura 28 – Fendas transversais



Fonte: Danieleski (2004, p.56)

Dentre as causas que originam a formação das fendas transversais, destacam-se: execução deficiente da junta transversal de construção, compactação deficiente das camadas inferiores, propagação de fendas de retração térmica dos materiais das camadas subjacentes, capacidade de suporte heterogênea da fundação e propagação de junta transversal construtiva da camada subjacente em material tratado com ligante hidráulico, se existir, até a superfície (BONDT, 2000; FRANCKEN; BEUVING; MOLENAAR, 1996). Como consequências, esse tipo de fendilhamento pode ocasionar o aumento da abertura e ramificação das fendas, a formação de desagregações, ninhos e peladas, bem como a erosão da base da camada e subida de finos, provocada pela entrada de água e acelerada pelo tráfego (PAIS, 1999).

Trincas Longitudinais

Fendas paralelas ao eixo da estrada, geralmente localizadas ao longo da zona de passagem dos veículos e, por vezes, junto ao eixo (EP, 2008). A Figura 29 ilustra tal deformação. Quando a fenda apresenta extensão de até 100 cm é denominada de trinca longitudinal curta (TLC); quando a extensão é superior a este limite, denomina-se trinca longitudinal longa (TLL).

Figura 29 – Fendas longitudinais



Fonte: Autor (2017)

As causas atreladas ao surgimento das fendas longitudinais são: drenagem deficiente, execução inadequada de juntas de construção, falta de ligação das camadas, propagação de fendas provenientes da camada subjacente, misturas betuminosas muito rígidas ou envelhecimento precoce do ligante betuminoso e início de fadiga das misturas betuminosas (KAY et al., 1992). Sua evolução pode acarretar a desagregação dos seus bordos, a formação de desagregações, ninhos e peladas, infiltração de água e o enfraquecimento das camadas inferiores, com posterior aparecimento de outras fendas (DANIELESKI, 2004).

Trincas Interligadas

Fendas que formam uma malha de dimensão variável entre si. Geralmente, assemelham-se ao aspecto de couro de jacaré, razão pela qual são assim designadas, ou apresentam configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas. Inicialmente, essa deformação limita-se às áreas sujeitas à passagem dos rodados dos veículos, abrangendo, progressivamente, toda a largura da via de tráfego. Ilustra-se na Figura 30 um exemplo de trincas interligadas (DANIELESKI, 2004).

A fadiga dos materiais betuminosos, a falta de capacidade de suporte das camadas não ligadas e do solo de fundação, a qualidade deficiente dos materiais e o envelhecimento do ligante betuminoso são algumas das causas relacionadas ao aparecimento de trincas interligadas (VIDEIRA, 2014). Particularmente, as trincas em bloco são também decorrentes de reflexão de trincas em solo-cal da base; já as trincas couro de jacaré decorrem também da perda de flexibilidade do ligante, compactação deficiente do revestimento e rigidez excessiva do revestimento em estrutura com elevada deflexão. O aumento da densidade dessas fendas pode ocasionar todas as consequências citadas nos tipos de fendas anteriores (BONDT, 2000).

Figura 30 – Fendas interligadas tipo couro de jacaré



Fonte: Autor (2017)

2.4.2 Afundamentos

São deformações permanentes, quer sejam do revestimento asfáltico, quer sejam das camadas subjacentes, caracterizadas por depressões da superfície do pavimento, acompanhadas ou não de solevamento. Apresentam-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação (DNIT, 2003a).

Afundamentos Plásticos

Afundamentos causados pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhados de solevamento (Figura 31). Quando o afundamento ocorre em extensão de até 6 m é denominados de Afundamento Plástico Local (ALP). Quando a extensão for superior a este limite e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado Afundamento Plástico da Trilha de roda (ATP). Dentre as suas principais causas, destacam-se: falha na dosagem de mistura asfáltica - excesso de ligante asfáltico; falha na seleção de tipo de revestimento asfáltico para a carga solicitante (BASTOS, 2016).

Afundamentos de Consolidação

São causados pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito, sem estar acompanhado de solevamento (Figura 32). Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado Afundamento de Consolidação Local (ALC). 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 (ATC). São decorrentes da densificação ou ruptura por cisalhamento de camadas subjacentes ao revestimento; pode também ocorrer por descolamento de película de asfalto junto ao agregado (*stripping*) (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 31 – Afundamento plástico nas trilhas de roda



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.419)

Figura 32 – Afundamento de consolidação local



Fonte: Danieleski (2004, p.62)

2.4.3 *Corrugação ou Ondulação*

São deformações transversais que ocorrem nas camadas de desgaste constituídas por revestimento superficial, alternando entre elevações e depressões em intervalos menores que 3 m. As ondulações são correlacionadas às tensões cisalhantes horizontais, ocasionadas por veículos em zonas de aceleração ou travagem (as ondas aparecem na direção da circulação do tráfego e desenvolvem-se transversalmente à faixa de rodagem) (SILVA, 2008).

Dentre as causas mais frequentes, são apontados os assentamentos diferenciais da fundação (má compactação), a instabilidade das camadas betuminosas (má distribuição do ligante), a qualidade deficiente da camada de desgaste (quantidade excessiva de agregados finos, agre-

gados pouco angulosos, demasiado betume) e o arrastamento das camadas betuminosas por excessiva deformação plástica. Este defeito de pavimento provoca perda de conforto na viagem e desgaste dos veículos devido à vibração (FIGUEIREDO, 2011; KAY et al., 1995). Ilustra-se na Figura 33 um exemplo de ondulação.

Figura 33 – Ondulações



Fonte: Ferreira (2007, p.54)

2.4.4 *Desgaste*

Refere-se à perda do mástique betuminoso (ligante e finos) ou à desagregação progressiva do agregado, geralmente da fração mais grossa, com o consequente aumento da macrotextura do pavimento (EP, 2008). Ilustra-se na Figura 34 este tipo de defeito.

Figura 34 – Desgaste



Fonte: Betuseal (2017)

O desgaste é resultado a má qualidade dos materiais e da mistura betuminosa, da adesividade deficiente do conjunto agregado-betume, do envelhecimento do ligante e da segregação da mistura betuminosa (RIBEIRO, 2012). Esta degradação desenvolve-se em condições severas de tráfego, traduzidas por elevadas forças tangenciais.

Como consequência do desenvolvimento desta patologia, aponta-se o aumento da área afetada, em profundidade e extensão, até a evolução progressiva da desagregação superficial. O aumento da área afetada intensifica, também, o ruído devido o atrito agregados-pneus e o desgaste destes últimos (FRANCISCO, 2012; FREITAS, 2012; PINTO, 2003).

2.4.5 *Escorregamento*

O escorregamento é um movimento plástico que causa o arqueamento localizado na superfície do pavimento. Bernucci et al. (2008) classificam em duas categorias: escorregamento do revestimento e escorregamento de massa. O primeiro (Figura 35 (a)) tem origem nas falhas construtivas e de pintura de ligação. O segundo (Figura 35 (b)) ocorre por fluência decorrente de excesso de ligante; em geral junto às depressões localizadas, às trilhas de roda e às bordas de pavimentos.

Figura 35 – Escorregamento (a) do revestimento (b) da massa asfáltica



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.420)

O formato de fenda é explicado pela falta de aderência entre o revestimento e a camada inferior ou pela baixa resistência da massa asfáltica. O escorregamento ocorre com maior frequência em áreas de frenagem e intersecções (SILVA, 2005).

2.4.6 *Exsudação*

Refere-se ao deslocamento para a superfície do ligante betuminoso da camada de desgaste, em particular na zona de passagem dos rodados dos veículos, conferindo-lhe um aspeto negro e brilhante (EP, 2008). Ilustra-se na Figura 36 ilustra este tipo de patologia.

Figura 36 – Exsudação



Fonte: Clube do Concreto (2017)

A origem desta deformação associa-se à uma deficiente formulação da mistura betuminosa da camada de desgaste, quer seja por excesso de ligante betuminoso, quer seja por reduzida viscosidade, à rega de colagem excessiva, e à dosagem inadequada de agregados. Todos esse fatores somados ao tráfego intenso e à temperaturas elevadas acarretam na ocorrência da exsudação. Como consequência do desenvolvimento desta degradação destacam-se o aumento da película de ligante betuminoso na superfície e o aumento da área afetada (PINTO, 2003; SILVA, 2012).

2.4.7 *Panela*

Cavidade localizada na camada de desgaste e com possibilidade de alcance às camadas subjacentes (DNIT, 2003a). Tal patologia é mais recorrente em estações chuvosas, pois a água acumulada no pavimento tende a desagregar e amolecer suas camadas, resultando em uma zona localizada com deficiente capacidade de suporte. Corresponde, portanto, ao estágio final do processo de degradação da estrutura do pavimento (BERNUCCI et al., 2008; SILVA, 2005). Ilustra-se na Figura 37 este tipo de degradação.

Figura 37 – Panela



Fonte: Dresch (2014, p.27)

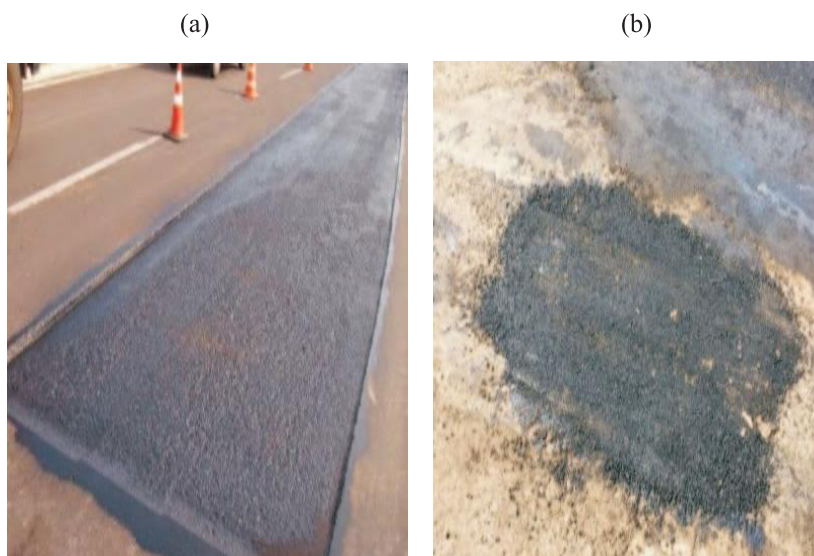
As panelas são consideradas a evolução de outras degradações, em particular das desagregações superficiais, dos fendilhamentos e dos afundamentos. A falta de aderência entre camadas superpostas, o que causa o deslocamento das camadas, podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento; a deficiente qualidade dos materiais da camada de desgaste; a expulsão de materiais estranhos à superfície e reparações mal efetuadas (más condições ou com materiais de má qualidade) são outras causas prováveis para a formação das panelas. Como consequência do seu desenvolvimento apresentam-se o desgaste de pneus e o aumento da profundidade e da área afetada (EP, 2008; JIMENÉZ, 2007).

As panelas são os defeitos mais encontrados em pavimentos asfálticos. De acordo com o Ferreira (2007), a ocorrência de panelas é registrada em 90% dos casos em que há patologias em um determinado pavimento. Conforme mencionado anteriormente, a origem desta patologia é extremamente diversificada, e em geral é tida como a evolução de outras patologias quando não há um tratamento adequado e oportuno.

2.4.8 Remendo

Apesar de estar relacionado a uma conservação da superfície, este defeito caracteriza-se pela preenchimento de panelas ou de qualquer outro orifício/depressão com massa asfáltica (Figura 38). Pode ser classificado em remendo profundo ou superficial. O primeiro apresenta, usualmente, formato retangular e é caracterizado pela substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento. O segundo, por sua vez, é uma correção em área localizada da superfície do revestimento através da aplicação de uma camada betuminosa (DRESCH, 2014; PINTO, 2003).

Figura 38 – Remendos: (a) bem executado (b) mal executado



Fonte: Dresch (2014, p.39)

2.5 Avaliação de Pavimentos

Conforme apontam Haas, Hudson e Zaniewski (1994), a etapa de avaliação dos pavimentos é primordial, senão a principal etapa de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), uma vez que a mesma permite verificar se a estrutura atende às especificações para as quais fora projetada. Gordon (1985) e o AASHTO (1993) descrevem que os dados levantados em avaliações funcional, estrutural e de superfície dos pavimentos podem ser usados para:

- Verificar a adequação com que os pavimentos estão atendendo as suas funções;
- Determinar a condição atual da rede viária;
- Elaborar curvas de previsão de desempenho a partir do conhecimento de uma série histórica de dados;
- Planejar e programar futuras reabilitações necessárias;
- Estabelecer prioridades na programação de investimentos sob uma condição de restrição orçamentária;
- Melhorar a tecnologia de projeto, construção e manutenção dos pavimentos através da determinação das causas da deterioração e do acompanhamento da vida útil do pavimento;
- Atualizar programas de melhorias em níveis de rede.

Aos usuários das vias, os parâmetros considerados mais importantes são o de conforto e segurança oferecidos. Entretanto, estes também estão interligados à caracterização estrutural do pavimento, uma vez que uma via estruturalmente defeituosa além de ser desconfortável ao condutor, pode ser insegura e causar acidentes (OLIVEIRA J.R.M., 2008).

Nessa perspectiva, métodos de avaliação e monitoramento das condições do pavimento devem ser realizados periodicamente. Tais métodos envolvem a análise dos quatro componentes principais da condição de um pavimento: conforto de rodagem, capacidade de suportar a solicitação das cargas, segurança (aderência pneu-pavimento e resistência à derrapagem) e conforto (visual e de ruídos gerados pelo tráfego) (HAAS; HUDSON, 1978).

A avaliação da condição de degradação e desempenho é classificada como avaliação funcional. Esta relaciona-se à verificação de como o pavimento está desempenhando a função de superfície de rolamento para o tráfego de veículos (DANIELESKI, 2004).

Este trabalho atém-se, exclusivamente, à avaliação da condição funcional de pavimento e, portanto, será amplamente abordado. Nos itens de 2.5.1 a 2.6.4 serão descritas as tipologias desta categoria de avaliação, bem como seus métodos, suas aplicações e quais características do pavimento são avaliadas qualitativamente ou quantitativamente.

2.5.1 Avaliação Funcional

Trata da determinação das condições de degradação e desempenho momentâneo do pavimento, conhecido como serventia. Segundo Danieleski (2004), a avaliação funcional contempla os aspectos de conforto e qualidade do rolamento proporcionados ao usuário e está relacionada à verificação da eficiência no desempenho da função do pavimento, que é de fornecer uma superfície com serventia adequada.

A avaliação funcional de pavimentos flexíveis é realizada por meio dos seguintes serviços (DER, 2006):

- Avaliação de defeitos da superfície do pavimento através do levantamento visual contínuo (LVC);
- Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis;
- Verificação da irregularidade longitudinal de pavimentos;
- Cadastro constante dos reparos superficiais e profundos.

Há uma diversidade de métodos criados para a realização de avaliações dos pavimentos, amplamente empregados por órgãos municipais, estaduais e federais. No entanto, cada procedimento de avaliação deve ser selecionado conforme as peculiaridades do pavimento, as necessidades e os objetivos a serem alcançados. Os métodos de avaliação da condição superficial de pavimentos visam aferir e identificar os defeitos de acordo com os seguintes requisitos (MARCON; CARDOSO; APS, 1995):

- Determinação do defeito: identificação e classificação do defeito de acordo com as suas causas;
- Grau de severidade: estágio atual da evolução do defeito e degradação da área do pavimento atingido;
- Dimensão do defeito: extensão afetada em cada pavimento por determinado tipo de defeito.

No tópico 2.6 são abordados os principais métodos de avaliação funcional aplicados no Brasil.

2.6 Métodos de Levantamento

Os métodos de levantamento da condição superficial de um pavimento flexível diferem entre si, mas os parâmetros normalmente empregados são, no geral: os tipos dos defeitos encontrados no pavimento, os níveis de severidade, a dimensão, expressos pela densidade ou

frequência de ocorrência, e os fatores de ponderação. Estes procedimentos possuem modelos matemáticos para, a partir do diagnóstico de defeitos, determinar um índice que exprima numericamente a condição do pavimento.

2.6.1 Procedimento DNIT PRO 006/2003

Este procedimento especifica os requisitos de avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos, mediante o apuramento e classificação de ocorrências aparentes e deformações permanentes. Tal procedimento é de grande serventia quando busca-se não somente um parâmetro definidor das condições de superfície, mas um inventário de ocorrências e suas possíveis causas, obtendo uma avaliação mais detalhada. Os defeitos elencados por este método são apresentados no Quadro 8 (DNIT, 2003b).

Quadro 8 – Defeitos apresentados no Procedimento DNIT PRO 006/2003

Defeitos	Notação
Fissuras	FI
Trincas isoladas transversais curtas	TTC
Trincas isoladas transversais longas	TTL
Trincas isoladas longitudinais curtas	TLC
Trincas isoladas longitudinais longas	TLL
Trincas interligadas tipo couro de jacaré sem erosão acentuada nas bordas	J
Trincas interligadas tipo couro de jacaré com erosão acentuada nas bordas	JE
Trincas isoladas devido a retração térmica	TRR
Trincas em bloco sem erosão acentuada nos bordos	TB
Trincas em bloco com erosão acentuada nos bordos	TBE
Afundamento plásticos locais	ALP
Afundamentos plásticos nas trilhas de roda	ATP
Afundamento de consolidação locais	ALC
Afundamento de consolidação nas trilhas de roda	ATC
Corrugação ou ondulação	O
Escorregamento de revestimento betuminoso	E
Exsudação	EX
Desgaste acentuado	D
Panelas	P
Remendos existentes (superficiais e/ou profundos)	R

Fonte: DNIT (2003b)

Os defeitos estão agrupados em oito classes, cada uma correspondente a um fator de ponderação, conforme ilustrado no Quadro 9. Dentre as principais particularidades deste método, tem-se a definição do termo de flecha na trilha de roda. A mesma é medida em milímetros e aponta a deformação permanente no sulco formado nas Trilhas de roda interna (TRI) e externa (TRE), condizente com o ponto de máxima depressão dimensionada sob o centro de uma régua de 1,20 m. São estabelecidos, ainda, os fatores de ponderação para a média e variância das medidas das flechas com base nos seguintes critérios (DNIT, 2003b):

- Se a média for igual ou menor que 30 mm, então o fator de ponderação é igual a 4/3; se maior que 30 mm, o IGI é igual a 40;
- Se a variância for igual ou menor que 50 mm, então o fator de ponderação é igual a 1; se maior que 50 mm, o IGI é igual a 50.

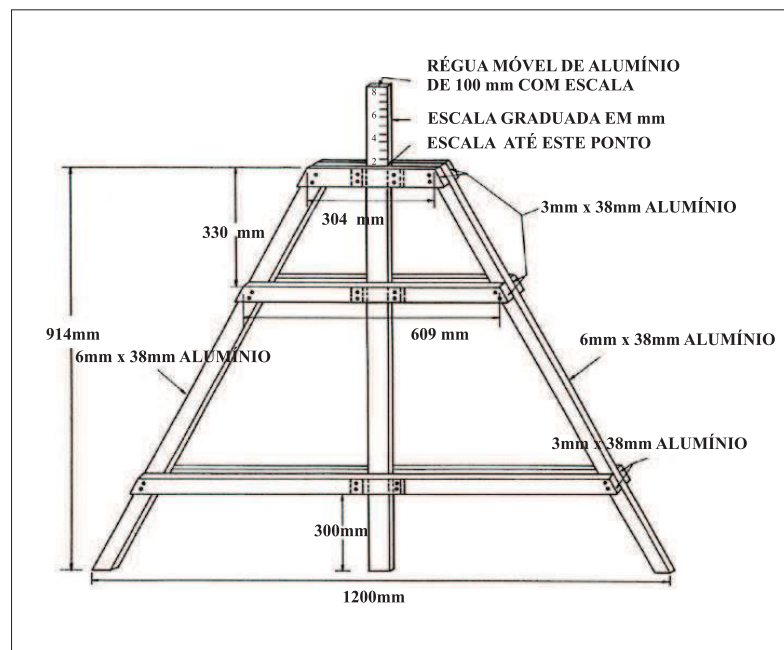
Quadro 9 – Codificação dos defeitos e os respectivos fatores de ponderação

Tipo	Codificação dos defeitos	Fator de ponderação
1	FC - 1 (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)	0,2
2	FC-2 (J e TB)	0,5
3	FC-3 (JE e TBE)	0,8
4	ALP e ATP	0,9
5	O e P	1,0
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

Fonte: DNIT (2003b)

O diagnóstico é realizado manualmente, por amostragem, por meio do caminhamento nas seções avaliadas. A medida da deformação permanente é realizada com o uso de uma treliça de alumínio padronizada com 1,20 m de comprimento na base, dotada de régua móvel instalada em seu ponto médio para medir as flechas da trilha de roda (Figura 39).

Figura 39 – Treliça para medição das flechas de deformações excessivas



Fonte: DNIT (2003b, p.6)

Torna-se necessário também equipamentos e materiais auxiliares para a locação e demarcação na via das estações de avaliação, como trena, giz, tinta, formulários, pincel, e outros. As superfícies de avaliação tem 6 metros de comprimento e são localizadas, em rodovias de pista simples, a cada 20 metros alternados em relação ao eixo da pista (de 40 em 40 metros em cada faixa de tráfego). Em rodovias de pista dupla, a cada 20 metros na faixa de tráfego mais solicitada de cada pista. Desta forma, a amostragem atinge 15% da área total da via em estudo (DNIT, 2003b).

O Índice de Gravidade Individual (IGI) é realizado a partir do produto da frequência relativa pelo fator de ponderação respectivo, conforme as Equações 2.1 e 2.2. O Índice de Gravidade Global (IGG), por sua vez, é obtido por meio do somatório dos IGI's, de acordo com a Equação 2.3.

$$f_r = \frac{f_a \times 100}{n} \quad (2.1)$$

$$IGI = f_r \times f_p \quad (2.2)$$

$$IGG = \sum IGI \quad (2.3)$$

onde:

f_r = frequência relativa de cada defeito;

f_a = frequência absoluta de cada defeito;

n = número de estações inventariadas;

f_p = fator de ponderação.

O Quadro 10 apresenta a classificação da condição do pavimento, a qual determina o seu estado de degradação. Tal classificação é obtida em função do Índice de Gravidade Global.

Quadro 10 – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG

Intervalos do IGG	Condição do Pavimento
$0 < IGG \leq 20$	Ótimo
$20 < IGG \leq 40$	Bom
$40 < IGG \leq 80$	Regular
$80 < IGG \leq 160$	Ruim
$IGG > 160$	Péssimo

Fonte: DNIT (2003a)

2.6.2 Procedimento DNIT PRO 007/2003

Tal especificação foi desenvolvida para levantamentos com fins de gerência de pavimentos e com o objetivo principal de analisar com maior precisão as patologias presentes em pavimentos semi-rígidos e flexíveis. De acordo com a norma, o método tem como função:

Fixar as condições exigíveis no levantamento para avaliação objetiva da condição de superfície de subtrechos homogêneos, dentro de um trecho considerado homogêneo, de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para ser utilizado na gerência de pavimentos e nos estudos e projetos, para a determinação do grau de degradação dos pavimentos ((DNIT, 2003c, p.2)).

O procedimento DNIT-PRO 007/2003 registra, detalhadamente, os tipos, as severidades e as extensões dos defeitos. Os defeitos incluídos nesta especificação encontram-se listados no Quadro 11. O levantamento é feito manualmente, por amostragem, por meio do caminhamento da seção, sendo realizado em superfícies de seis metros de comprimento (DNIT, 2003c).

Considera-se como subtrechos homogêneos todo segmento de 100m de comprimento selecionado de determinada rodovia para a execução de levantamento das condições de superfície do pavimento. Para cada subtrecho, são definidos três segmentos testemunhas de 100 metros cada e em cada segmento testemunha duas superfícies de avaliação são inventariadas. A amostragem atinge entre 0,18% da extensão quando realizada em segmentos homogêneos de 20 km e 12% para segmentos homogêneos de 300 m. Tal especificação não apresenta modelo para obtenção da condição do pavimento a partir do levantamento realizado.

Quadro 11 – Defeitos apresentados no Procedimento DNIT-PRO 007/2003

Defeito	Notação
Flecha na trilha de roda interna e externa	TRI/TRE
Trinca transversal	TR
Trinca longitudinal	TL
Trinca em bloco	TB
Trinca tipo couro de crocodilo	TCR
Trinca irregular	TI
Panelas ou buracos	P
Remendos (tipo tapa-buraco)	R
Remendo Profundo	RP
Remendo Superficial	RS
Exsudação	EX
Desgaste	D
Afundamento	A
Ondulação ou corrugação	ON

Fonte: DNIT (2003c)

2.6.3 Procedimento DNIT PRO 008/2003

Este procedimento consiste no estabelecimento de normas para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígido a partir do processo de Levantamento Visual Contínuo (LVC). São determinados três índices, de acordo com a norma DNIT-PRO 008/2003: o Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis (ICPF), o Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE) e o Índice do Estado de Superfície do Pavimento (IES).

A avaliação deve ser realizada em toda a extensão. É utilizado um veículo equipado para trafegar a uma velocidade média aproximada de 40 km/h, com velocímetro/odômetro calibrado para verificação da velocidade da operação e as consequentes distâncias percorridas. Os defeitos devem ser registrados manualmente, identificando os tipos e extensões dos mesmos. O avaliador também estima o ICPF, em função dos defeitos vistos, atribuindo uma nota de 0 a 5 em função da necessidade de manutenção, conforme o Quadro 12. O ICPF final resulta do cálculo da média dos valores atribuídos por dois ou mais avaliadores (DNIT, 2003d).

Quadro 12 – Conceituação, descrição da condição e valores do ICP

Conceito	Descrição	ICPF
Ótimo	Necessita de conservação rotineira	5,0 - 4,0
Bom	Aplicação de lama asfáltica - desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas	4,0 - 3,0
Regular	Correção de pontos localizados ou recapeamento - pavimento trincado, com painelas pouco frequentes e com irregularidade longitudinal e/ou transversal	3,0 - 2,0
Ruim	Recapeamento com correções prévias - defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas, remendos localizados ou profundos	2,0 - 1,0
Péssimo	Reconstrução - defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão, degradação do revestimento e das demais camadas; infiltração de água e descompactação da base.	1,0 - 0,0

Fonte: DNIT (2003d)

O IGGE é determinado por meio da frequência dos defeitos e seus respectivos pesos, de acordo com a Equação 2.4. Os defeitos são classificados em três tipos: trincas, deformações e painelas e remendos. Os pesos de cada grupo variam em função da frequência de ocorrência de defeitos, conforme apresentado no Quadro 13.

$$IGGE = (P_t \times F_t) + (P_{oap} \times F_{oap}) + (P_{pr} \times F_{pr}) \quad (2.4)$$

onde:

F_t, P_t = Frequência e Peso do conjunto de trincas (t);

F_{oap}, P_{oap} = Frequência e Peso do conjunto de deformações (oap);

F_{pr}, P_{pr} = Frequência (quantidade por quilômetro) e Peso do conjunto de painelas (p) e remendos (r).

Quadro 13 – Pesos dos defeitos em função da frequência de ocorrência

Frequência	Gravidade	Painéis e Remendos		Trincas(t) e Deformações (oap)		
		Fator Fpr (quantidade/km)	Peso	Fator Ft e Foap	Peso das trincas	Peso das deformações
A - Alta	3	≥ 5	1,00	≥ 50	0,65	1,00
M - Média	2	2 - 5	0,80	50 - 10	0,45	0,70
B - Baixa	1	≤ 2	0,70	≤ 10	0,30	0,60

Fonte: DNIT (2003d)

Por fim, o Índice do Estado da Superfície (IES) é obtido a partir da combinação do ICPF e do IGGE. Tal índice varia de 0 a 10 e está relacionado aos cinco níveis da condição do pavimento: ótimo, bom, regular, ruim e péssimo, conforme indicado no Quadro 14.

Quadro 14 – Índice do estado da superfície do pavimento

Descrição	Ies	Código	Conceito
$IGGE \leq W20$ E $ICPF > 3$	0	A	ÓTIMO
$IGGE \leq W20$ E $ICPF \leq 3$	1	B	BOM
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF > 3,5$	2		
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF \leq 3,5$	3	C	REGULAR
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF > 2,5$	4		
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF \leq 2,5$	5	D	RUIM
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF \leq 2,5$	7		
$60 \leq IGGE \leq 960$ e $ICPF \leq 2,5$	8	E	PÉSSIMO
$IGGE > 90$	10		

Fonte: DNIT (2003d)

2.6.4 Procedimento DNIT PRO 009/2003

Este procedimento busca métodos a serem adotados em uma avaliação de serventia dos pavimentos. A norma DNIT-PRO 009/2003 conceitua serventia como “[...]a capacidade de um trecho específico de pavimento de proporcionar, na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego” (DNIT, 2003e).

O Valor de serventia atual (VSA) é uma atribuição numérica compreendida em uma faixa de 0 a 5, que se refere a uma medida subjetiva da condição da superfície dada pela média de notas de avaliadores. Estes, por sua vez, registram na ficha de avaliação seus respectivos pareceres técnicos sobre o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em um determinado trecho e sobre o estado da superfície do pavimento. Morais (2011) afirma que a medida da serventia de um pavimento permite a análise das táticas de projeto e a execução de programas de manutenção, reabilitação e reconstrução. Portanto, a avaliação do desempenho de um pavimento depende da interação de três componentes: usuário, veículo e pavimento.

O resultado da avaliação de cada trecho estudado pode ser obtido por meio da Equação 2.5:

$$VSA = \frac{\sum x}{n} \quad (2.5)$$

onde:

VSA = Valor de Serventia Atual;

$\sum x$ = Valores de Serventia Atual individuais, sendo atribuídos por cada membro do grupo;
 n = número de membros do grupo de avaliação.

Existem requisitos importantes para a avaliação do pavimento, conforme a norma do DNIT-PRO 009/2003 (DNIT, 2003e). Destacam-se:

- O trecho de pavimento deve ser avaliado tal como fosse uma rodovia de tráfego intenso e constituído de veículos comerciais e de passageiros;
- Torna-se necessário que o avaliador considere somente o estado momentâneo da superfície;
- A avaliação deve ser realizada sob condições climáticas favoráveis;
- Os avaliadores devem desconsiderar grandes depressões resultantes do recalque de aterros, e atentar, principalmente, aos “buracos”, saliências, irregularidades transversais e longitudinais da superfície.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados neste trabalho para a obtenção dos dados necessários à avaliação funcional da Av. Getúlio Vargas, localizada no bairro Monte Castelo na cidade de São Luís - MA. É apresentada também uma descrição da via em estudo, bem como o processo de escolha da mesma.

3.1 Estratégia de Pesquisa

Esta pesquisa procedeu-se por meio de um estudo de caso baseado no diagnóstico dos defeitos presentes no pavimento asfáltico da Avenida Getúlio Vargas com posterior classificação de sua serventia funcional. Stake (2005) descreve três modalidades de estudos de caso: intrínseco, instrumental e coletivo. A pesquisa em questão enquadra-se no tipo intrínseco, pois, conforme a sua definição, o caso constitui o próprio objeto da pesquisa.

De acordo com sua natureza, essa pesquisa foi classificada como aplicada, uma vez que objetivou gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais. Portanto, quanto aos objetivos, a pesquisa possui caráter exploratório e descritivo, dado a predominância de levantamento bibliográfico, pesquisa de campo, técnicas de observação sistemática para a determinação e quantificação de defeitos de pavimentos, coleta e análise de dados.

Então, quanto à abordagem, esta pesquisa pode ser delimitada em quanti-qualitativa. Trabalhou-se com a pesquisa qualitativa, analisando os resultados dos dados coletados e das observações realizadas para aprimorar o projeto desenvolvido, procurando atender aos objetivos propostos. Por sua vez, na pesquisa quantitativa, buscou-se expressar as relações entre variáveis, procurando identificar os elementos constituintes do objeto estudado, estabelecendo a estrutura e a evolução das relações entre os elementos.

3.2 Delineamento

Apresenta-se na Figura 40 o delineamento do presente estudo e os passos para o desenvolvimento deste trabalho. A partir do contexto e existência de um problema que requer investigação pura e aplicada, iniciou-se com a formulação de uma questão de pesquisa, tal como objetivos para respondê-la. Como todo estudo de caso exige vasto conhecimento teórico, a pesquisa bibliográfica teve início desde a definição do tema e se estendeu até o final do trabalho. Foram pesquisadas diversas literaturas, nacionais e internacionais, abrangendo conceitos da pavimentação e suas subclassificações, a composição e função das camadas, a nomenclatura de defeitos, bem como suas causas e consequências, e os métodos de avaliação funcional de pavimento.

Figura 40 – Delineamento da pesquisa realizada



Fonte: Autor (2017)

Posteriormente, definiu-se a Avenida Getúlio Vargas como objeto de estudo deste trabalho. Na sequência, após análise crítica dos sistemas de avaliação explanados na etapa de pesquisa bibliográfica foi definido o método da Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-flexíveis preconizado pela norma DNIT-PRO 006/2003.

O levantamento de dados foi realizado na área de estudo em dias alternados e foi baseado no diagnóstico de defeitos encontrados no pavimento existente. Findada esta etapa, os dados foram analisados e compilados com a utilização de planilhas eletrônicas, para a melhor compreensão dos resultados.

Ao final, os resultados foram elencados e discutidos, apontando para a avaliação da serventia do pavimento. A conclusão apresenta os resultados obtidos como auxílio em processos de monitoramento das vias da cidade a serem adotados futuramente pelo Poder Público.

3.3 Caracterização do Objeto de Estudo

3.3.1 Definição da Via

A via analisada corresponde a Avenida Getúlio Vargas, conforme demarcação no mapa da Figura 41. Sua escolha para este estudo se fez, como caráter social, devido à sua importância à capital São Luís, uma vez que a via é rota de acesso à área central da cidade e, como caráter técnico, devido ao seu alto Volume Médio Diário (VMD) de tráfego em função de sua posição geográfica dentro da cidade.

Para os fins deste trabalho, a avaliação foi realizada em toda a extensão da Avenida em

estudo, nos dois sentidos de tráfego da pista de rolamento. Para tanto, convencionou-se o sentido A para o deslocamento Avenida João Pessoa - Canto da Fabril e sentido B para o deslocamento Canto da Fabril - Avenida João Pessoa.

3.3.2 *Localização e Classificação*

A Avenida Getúlio Vargas localiza-se na região centro-oeste de São Luís, ao Norte do Maranhão, e está situada a cerca de 1,3 km do centro da cidade. Tem início no Canto da Fabril, nas coordenadas geográficas 2°32'04.18"S e 44°17'24.74"O, e se estende até sua confluência com a Avenida João Pessoa, nas coordenadas 2°32'31.96"S e 44°16'33.05"O. Na Figura 42 pode-se observar o mapa de localização da Av. Getúlio Vargas.

O Jornal O Estado do Maranhão (2015) afirma que a construção de tal Avenida teve início em 1939 e término em 1940 e foi realizada sobre o traçado do Caminho Grande, antiga via de São Luís que data desde as primeiras ocupações europeias na cidade. A via, que ia do atual Largo do Carmo até a Vila do Paço, atual cidade de Paço do Lumiar, foi a mais importante da cidade. A partir da sua construção, a região local começou a se expandir, com o deslocamento da população de renda mais alta instalada até então na área da Praia Grande para o bairro Monte Castelo.

Conforme a classificação de logradouros em corredores urbanos de São Luís estabelecida pela Lei Municipal nº 3.253/92 que dispõe sobre o Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (SÃO LUÍS, 1992), a Avenida é qualificada como Corredor Consolidado 2. De acordo com a categoria funcional, suas particularidades permitem classificá-la em via arterial secundária, uma vez que canaliza o tráfego oriundo de vários bairros locais para o centro da cidade e à pequenos espaços comerciais. Tais características tornam a Avenida densa em fluxo viário, sendo utilizada majoritariamente por veículos de passeio e de transporte coletivo.

3.3.3 *Características Geométricas*

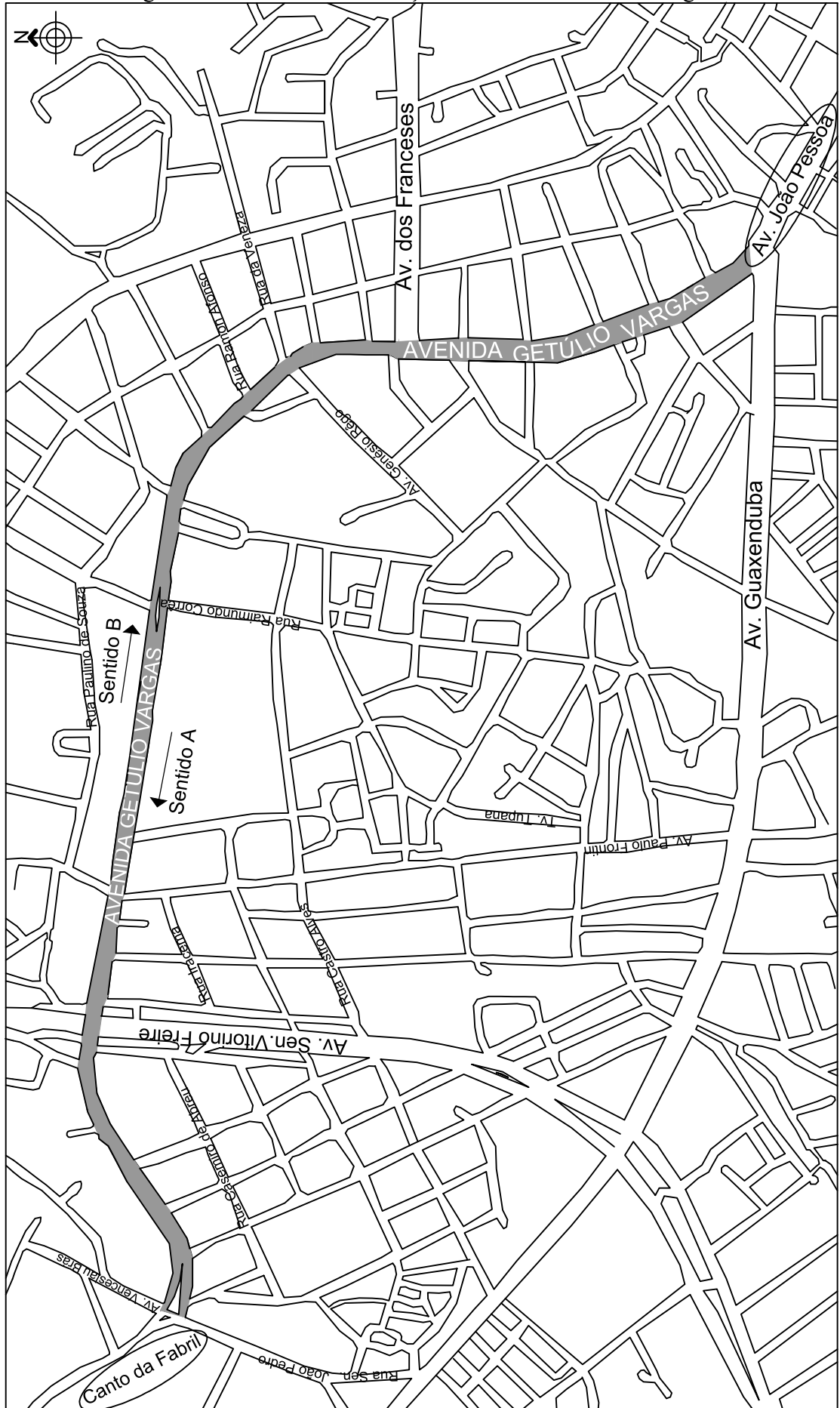
As características físicas apresentam dados da plataforma de rolamento da Avenida Getúlio Vargas, como larguras de acostamento e faixas de rolamento. Os dados são apresentados na Tabela 2. A Avenida caracteriza-se como uma via de pista dupla e, portanto, a avaliação foi realizada nos dois sentidos de circulação. Dessa forma, a extensão analisada totalizou 4,6 km.

Tabela 2 – Características geométricas da Avenida Getúlio Vargas

INICIAL (km)	FINAL (km)	EXTENSÃO (km)	LARGURA FAIXA (m)	LARGURA ACOSTAMENTO (m)	LARGURA PLATAFORMA (m)
0	2,3	2,3	3,5	0	7

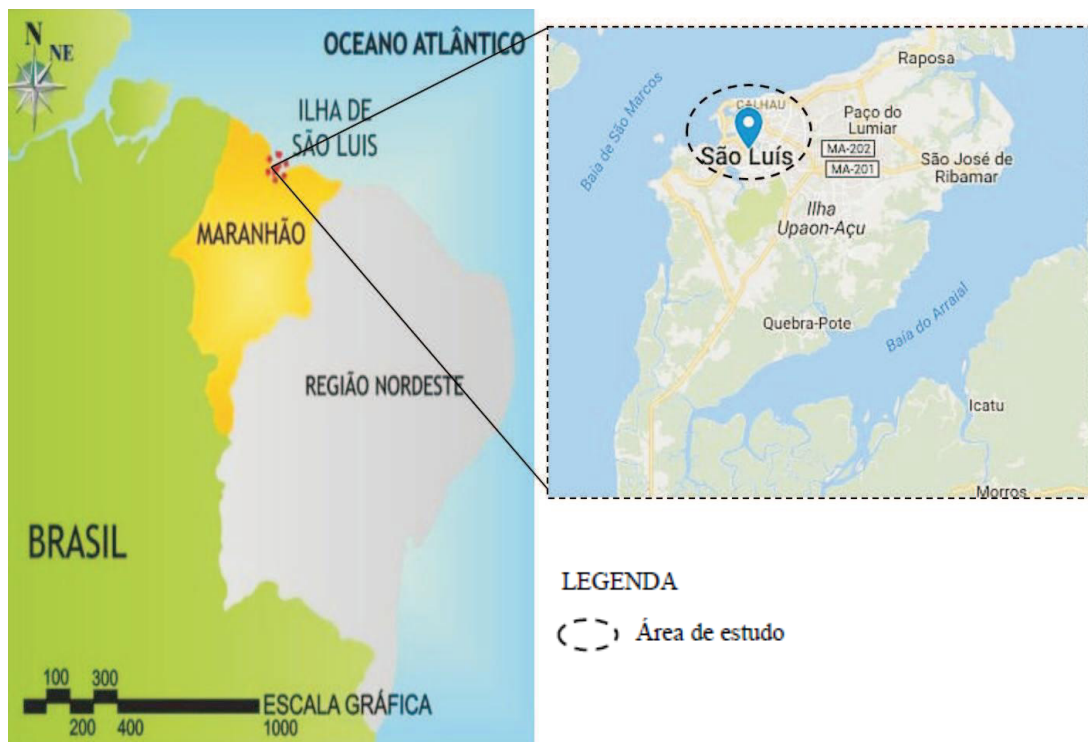
Fonte: Autor (2017)

Figura 41 - Planta de localização da Avenida Getúlio Vargas



Fonte: Autor (2017)

Figura 42 – Mapa de localização da Avenida Getúlio Vargas



Fonte: Adaptado de Google Maps (2017); IBGE (2017)

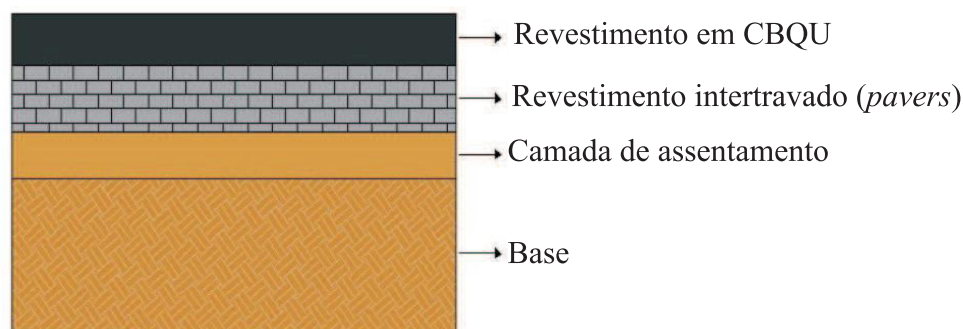
3.3.4 Características do Pavimento

Para análise do pavimento estudado nesta pesquisa, foi necessário conhecer e caracterizar o revestimento em questão. Buscou-se, além disso, investigar a frequência dos procedimentos de manutenção realizados atualmente na via urbana, sob jurisdição municipal.

Não foram encontrados dados relativos ao tipo e estrutura iniciais do pavimento devido à ausência de registros. Contudo, informações obtidas junto à Prefeitura Municipal de São Luís afirmam que a Avenida Getúlio Vargas tem camada de revestimento em CBUQ sobre o antigo revestimento em peças de concreto (pavimento intertravado), resquícios da pavimentação mais remota da cidade de São Luís e que remete à própria história do bairro Monte Castelo. Ilustra-se na Figura 43 a estrutura típica do revestimento em estudo.

Em visita realizada à Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos de São Luís (SEMOSP), no dia 22 de novembro, foi entrevistado o Eng. Benedito Lebre Soares, responsável pelo setor de Infraestrutura viária da capital. Na oportunidade, foi discutido o atual estado degradado da via urbana e a técnica de reabilitação prevista em projeto existente. Conforme relatado durante entrevista, entre os meses de fevereiro e março do ano vigente a Avenida foi alvo de operações “tapa-buraco”, procedimentos estes que são usuais em manutenções aplicadas à rede viária da cidade. No entanto, não há documentação de datas precisas.

Figura 43 – Representação esquemática do pavimento da Avenida Getúlio Vargas



Fonte: Autor (2017)

Atualmente, a Avenida está incluída no projeto de revitalização de ruas e avenidas com Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF), sancionado pela Prefeitura em parceria com o Governo do Estado do Maranhão. O projeto contempla os serviços desde a fresagem até o recapeamento com mistura asfáltica. Os objetivos estão pautados no rejuvenescimento do pavimento desgastado pelo tráfego intenso, bem como na melhoria das condições de segurança no tráfego. O levantamento técnico para a Av. Getúlio Vargas se encontra em fase de orçamento e a previsão de execução é para o ano de 2018.

3.4 Avaliação Funcional do Pavimento

O método empregado no presente estudo para a obtenção dos objetivos propostos foi a Avaliação Objetiva de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos, preconizado pela norma do DNIT (2003b), que consiste em um levantamento sistemático de defeitos e atribuições de pesos para cada tipo de defeito identificado, o que gera, ao final, o Índice de Gravidade Global (IGG). A escolha do procedimento justifica-se pela ausência de subjetividade na avaliação do pavimento, o que não é observado em outras normas do DNIT. Tal fator torna este procedimento amplamente utilizado em conjunto com a norma de restauração DNIT - PRO 0269/94.

3.4.1 Levantamento de Dados

O diagnóstico de defeitos aparentes foi realizado pela autora e demais integrantes do Grupo de Pesquisa em Infraestrutura de Transportes (GPIT) do curso de Engenharia Civil da UFMA. Para a execução das atividades em campo, o grupo foi devidamente treinado. O levantamento de dados foi realizado em duas etapas: a primeira ocorreu no dia 22 de Outubro de 2017, com análise de toda a extensão da via no sentido A; a segunda ocorreu no dia 29 de Outubro de 2017, com análise de toda a extensão da via no sentido B. Para o cumprimento das instruções contidas na norma do DNIT (2003b) foi necessária a utilização dos seguintes materiais:

- Trena de 30m, trena digital a laser e giz;
- Treliça de alumínio de dimensões padronizadas, conforme a norma do DNIT PRO- 006/2003 (Figura 44);
- Inventários de ocorrências de defeitos (no Apêndice A).

Figura 44 – Treliça metálica para medição dos afundamentos



Fonte: Autor (2017)

A treliça metálica foi disponibilizada pelo laboratório de solos e pavimentação da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) mediante contato estabelecido ao Professor Dr. Walter Canales Sant'ana. Trata-se de um instrumento essencialmente importante para a avaliação funcional de pavimentos, pois permite medir os afundamentos de trilhas de roda com precisão.

O levantamento teve início com o reconhecimento geral da geometria da avenida. Na sequência, realizou-se o estaqueamento e demarcação das superfícies de avaliação de todo o trecho de análise com o auxílio das trenas e giz de acordo com as diretrizes do DNIT (2003b) (Figura 45).

Por se tratar de uma via de pista dupla, o estaqueamento procedeu-se com a demarcação das estacas, a cada 20m, na faixa de tráfego mais solicitada da pista. Nesta pesquisa, determinou-se a faixa da direita, corredor de transporte coletivo, como a mais solicitada.

Na sequência, foi efetuada a amostragem para cada estação de avaliação a partir da demarcação da superfície, delimitada pelas bordas da faixa de tráfego e por duas seções transversais, situadas, a 3m a ré e 3m avante. Desta forma, cada estação, devidamente enumerada com o número corresponde à sua estaca, correspondeu a uma área de 6 m por 3,5 m, o equivalente a 21 m^2 , conforme ilustrado na Figura 46.

A superfície de avaliação deve ser delimitada pelas bordas da faixa de tráfego e por duas seções transversais, situadas, respectivamente, a 3m antes e 3m após a estação considerada (DNIT, 2003b, p.2).

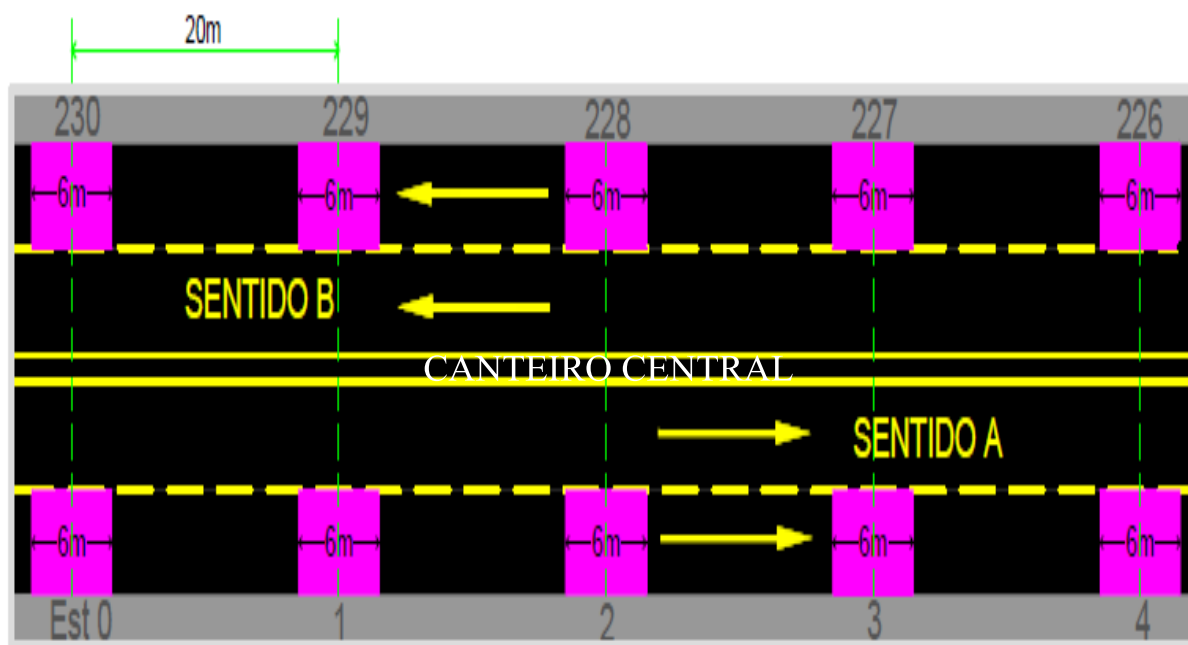
Figura 45 – Estaqueamento e demarcação das estações de avaliação



Fonte: Autor (2017)

As superfícies de avaliação devem ser demarcadas sobre o pavimento, por meio de pintura com tinta de demarcação. Cada estação recebe o número correspondente à estaca ou distância ao marco quilométrico, número este a ser pintado junto à borda do revestimento [...] (DNIT, 2003b, p.3).

Figura 46 – Exemplo de demarcação das superfícies de avaliação



Fonte: Autor (2017)

Foram demarcadas as estações 1 a 115 no sentido A, o correspondente à extensão de 2,3 km, e as estações 116 a 230 no sentido B, obtendo mais 2,3 km de análise. Ao final, 230 estações foram totalizadas em 4,6 km de avaliação.

Concomitante à demarcação das estações ao longo do segmento analisado, foi realizado o levantamento das condições superficiais de cada área delimitada de acordo com os defeitos elencados no inventário para o levantamento de defeitos da superfície do pavimento da norma do DNIT (2003b). Vale ressaltar que este método não objetiva à verificação da área atingida pelo defeito, mas à constatação de sua ocorrência ou não. Tais defeitos foram catalogados nas planilhas do inventário, conforme ilustrado na Figura 47.

Figura 47 – Preenchimento dos inventários de avaliação



Fonte: Autor (2017)

É importante frisar que o conhecimento prévio e minucioso dos defeitos existentes em pavimentos flexíveis, conforme apresentados na norma do DNIT (2003a) e elencados no inventário do estado da superfície do pavimentos da norma do DNIT (2003b), foi de suma importância para identificação e análise correta de cada um dos defeitos analisados nesta etapa.

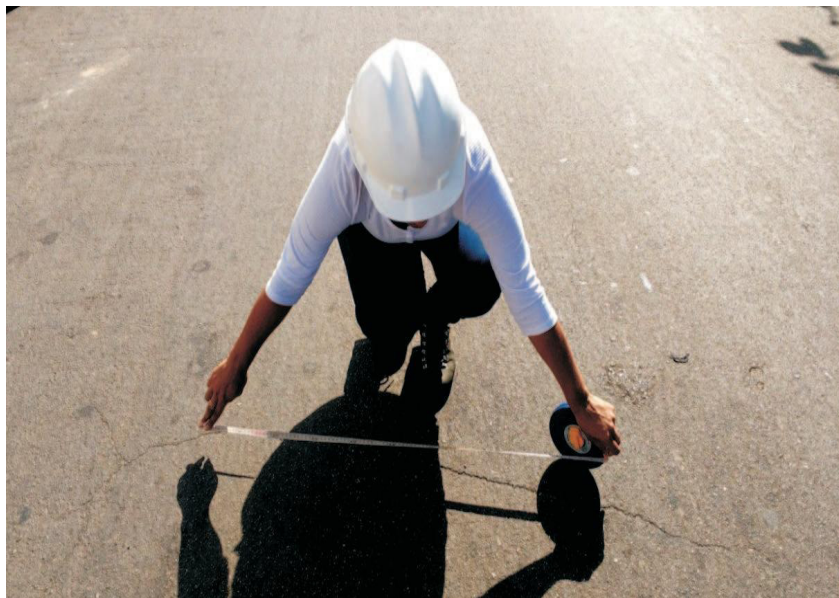
Paralelo ao levantamento realizou-se a medição dos defeitos, dado a necessidade desta. De acordo com cada análise foram mensurados as trincas isoladas para posterior classificação em curtas ou longas (Figura 48); os afundamentos de trilhas para classificação em plástico/consolidação local ou da trilha de roda; e, as deformações permanentes, avaliadas a partir das medidas das flechas nas trilhas de roda com a treliça metálica (Figura 49).

(...) quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada trinca curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca longa (DNIT, 2003a, p.2).

(...) em extensão de até 6 m é denominado afundamento plástico/consolidação local; quando a extensão for superior a 6 m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico/consolidação da trilha de roda (DNIT, 2003a, p.3).

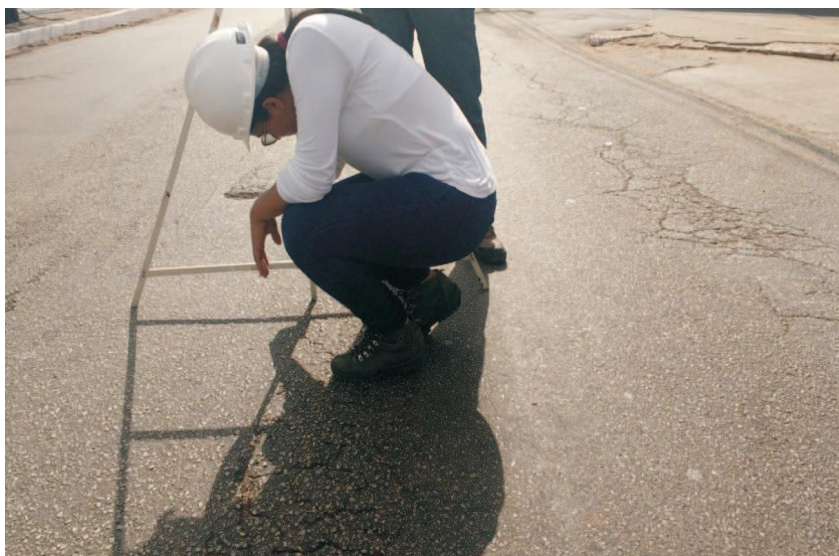
(...) as flechas devem ser medidas em milímetros, em cada estação demarcada
(...) Estas medidas são executadas nas trilhas de roda interna (TRI) e externa (TRE), anotando-se o maior valor medido em cada trilha (DNIT, 2003b, p.3).

Figura 48 – Medição de trinca isolada



Fonte: Autor (2017)

Figura 49 – Medição de afundamento de trilha de roda



Fonte: Autor (2017)

Na mesma etapa de levantamento das condições superficiais, também foi realizado o levantamento fotográfico das estações, onde buscou-se mostrar a condição atual do pavimento

da avenida e os diversos defeitos encontrados em todo o trecho de avaliação. Findada esta etapa, procedeu-se com o lançamento dos dados em planilhas eletrônicas, gerando os gráficos que serviram como ferramenta para a delimitação dos segmentos de comportamento homogêneo.

3.4.2 Determinação do Índice de Gravidade Global (IGG)

O Índice de Gravidade Global foi calculado para cada segmento homogêneo, a fim de explicar a condição do pavimento. Iniciou-se com a contagem da frequência absoluta de cada ocorrência, com posterior obtenção da frequência relativa (item 2.6.1).

Para as flechas medidas nas TRI e TRE das faixas de tráfego foram calculados as médias e variância como parâmetros para o fator de ponderação. Na sequência, foi calculado o Índice de Gravidade Individual (IGI) para cada ocorrência. Para o fator de ponderação fez-se o uso do Quadro 9 (item 2.6.1).

Ao final, os IGG's foram obtidos a partir do somatório dos IGI's encontrados. Para concluir, foram atribuídos conceitos de degradação de pavimento a cada segmento homogêneo avaliado, conforme especificado no Quadro 10 (item 2.6.1).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os resultados e as análises realizadas na pesquisa. O principal enfoque de resultados consistiu no levantamento de dados referentes às condições da superfície do pavimento. Após o levantamento, os dados foram tabulados e, posteriormente, foi calculado o IGG para as estações avaliadas.

4.1 Condições Superficiais das Estações Avaliadas

Os defeitos constatados no decorrer do levantamento de dados serviram de base para o primeiro balanço geral das condições do pavimento. Diante das informações catalogadas manualmente nas planilhas do inventário, conforme o Apêndice A, foi possível perceber a existência de diversos defeitos em grande parte das estações. A Figura 50 ilustra os defeitos atípicos localizados na Avenida Getúlio Vargas.

Figura 50 – Defeitos atípicos nas estações (a) 114 e (b) 209



Fonte: Autor (2017)

A partir dos resultados obtidos, realizou-se uma avaliação geral com embasamento na classificação de ocorrências abordadas pelo DNIT (2003b). Dados relativos à extensão total atingida por cada defeito, bem como o porcentual com que cada ocorrência foi encontrada seguem registrados na Tabela 3.

De acordo com a Tabela 3, observa-se que o desgaste é o defeito mais atuante no pavimento, estando presente em 91,30% das estações inventariadas. Imediatamente após, estão as trincas isoladas (89,13%), trincas interligadas com erosão (52,17%) e as ondulações, panelas e escorregamentos (33,47%).

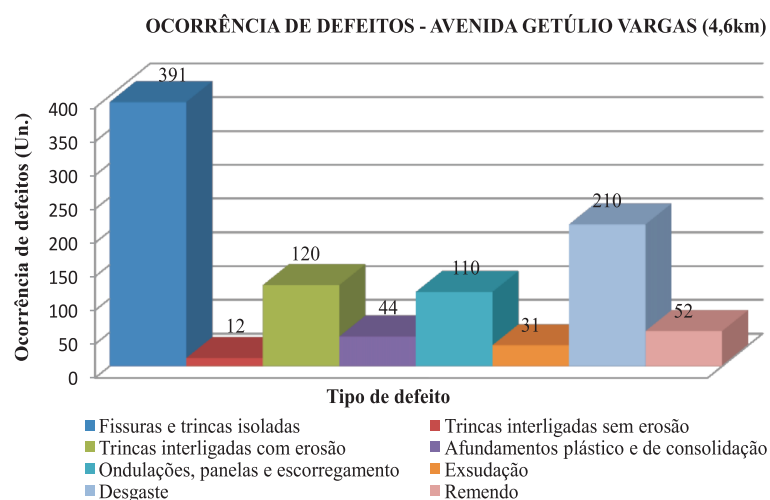
Tabela 3 – Resultado global de ocorrência de defeitos na Avenida Getúlio Vargas

Defeitos	Ocorrência (%)	Área (m ²)
Trincas isoladas	89,13	4305
Trincas interligadas sem erosão	5,65	273
Trincas interligadas com erosão	52,17	2520
Afundamentos plástico e de consolidação	19,57	945
Ondulações, panelas e escorregamento	33,47	1617
Exsudação	13,48	651
Desgaste	91,30	4410
Remendo	22,61	1092

Fonte: Autor (2017)

O gráfico da Figura 51 traduz, em quantidade, a ocorrência de defeitos na extensão total avaliada. No mesmo, constata-se frequência acentuada dos diversos tipos de trincas isoladas, presentes em 205 das 230 estações, o que evidencia com clareza o processo de fadiga do revestimento asfáltico, que está sujeito aos frequentes esforços de tração por flexão.

Figura 51 – Ocorrência de defeitos (quantitativo) da Avenida Getúlio Vargas



Fonte: Autor (2017)

Como indicativos do estágio inicial de ruptura, foram observadas trincas isoladas longitudinais e transversais. Dentre estas, tiveram destaque as trincas longitudinais ao eixo, que podem ser originárias da construção deficiente da junta longitudinal de construção (Figura 52 (a)). As transversais, menos frequentes, denunciam a deficiência da colocação das camadas ou até mesmo a má execução da concordância entre estas (Figura 52 (b)).

As trincas interligadas com erosão, destaque em relação as trincas sem erosão, evidenciam o estágio avançado de degradação decorrente da combinação de diversas ações sofridas pelo pavimento durante sua vida útil (Figura 53). A estação 225 foi a que apresentou maior nível de severidade em relação as trincas interligadas (Figura 54)

Figura 52 – Trincas (a) longitudinal e (b) transversal na estação 10



Fonte: Autor (2017)

Figura 53 – Trinca interligada tipo couro de jacaré com erosão nas estações (a) 29 e (b) 82



Fonte: Autor (2017)

Figura 54 – Estação 225 em estágio de fadiga avançado



Fonte: Autor (2017)

De forma também expressiva foi verificado o desgaste, efeito da perda do mástique junto aos agregados, denotando evidente macrorrugosidade, conforme ilustrado na Figura 55. Essa deficiência engloba os fenômenos de envelhecimento, endurecimento, volatilização e intemperização do ligante.

Figura 55 – Desgaste do pavimento na estação 12



Fonte: Autor (2017)

As ondulações, panelas e escorregamento também demonstraram nível elevado de severidade, uma vez que obtiveram a quarta maior representatividade no gráfico da Figura 51. Na Figura 56 é possível visualizar a ondulação no revestimento na estação 162. Esse tipo de irregularidade é caracterizada pela movimentação plástica da mistura asfáltica e ocorre, principalmente, onde os veículos aceleram e desaceleram, gerando ondas sucessivas com arranjos aleatórios (DANIELESKI, 2004).

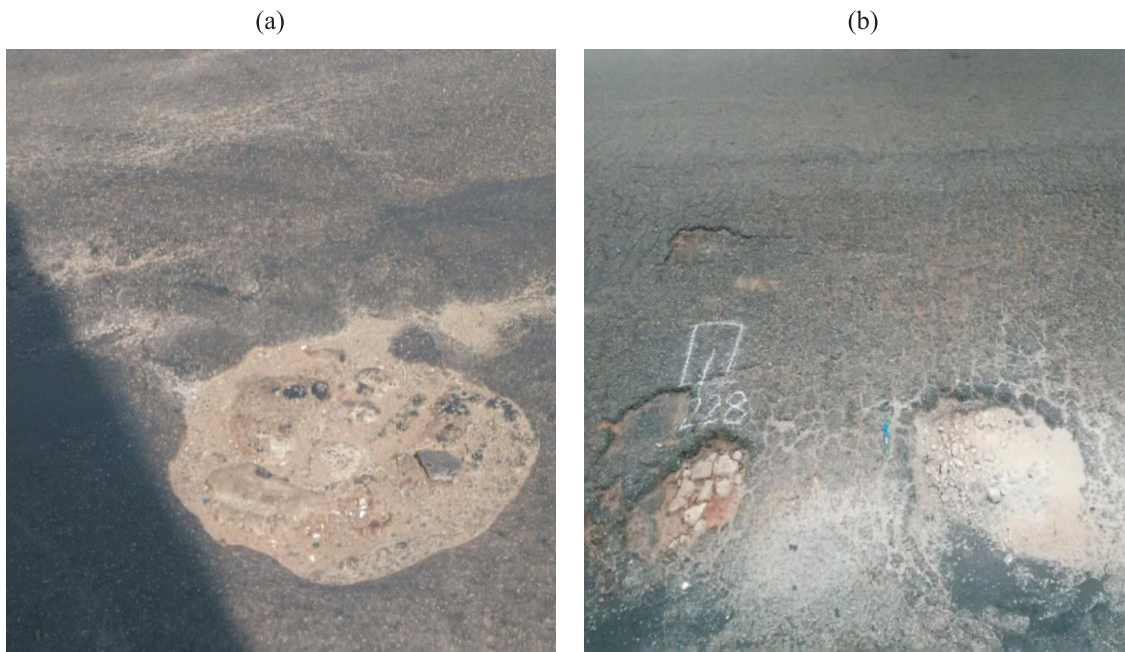
Figura 56 – Ondulações em revestimento da estação 162



Fonte: Autor (2017)

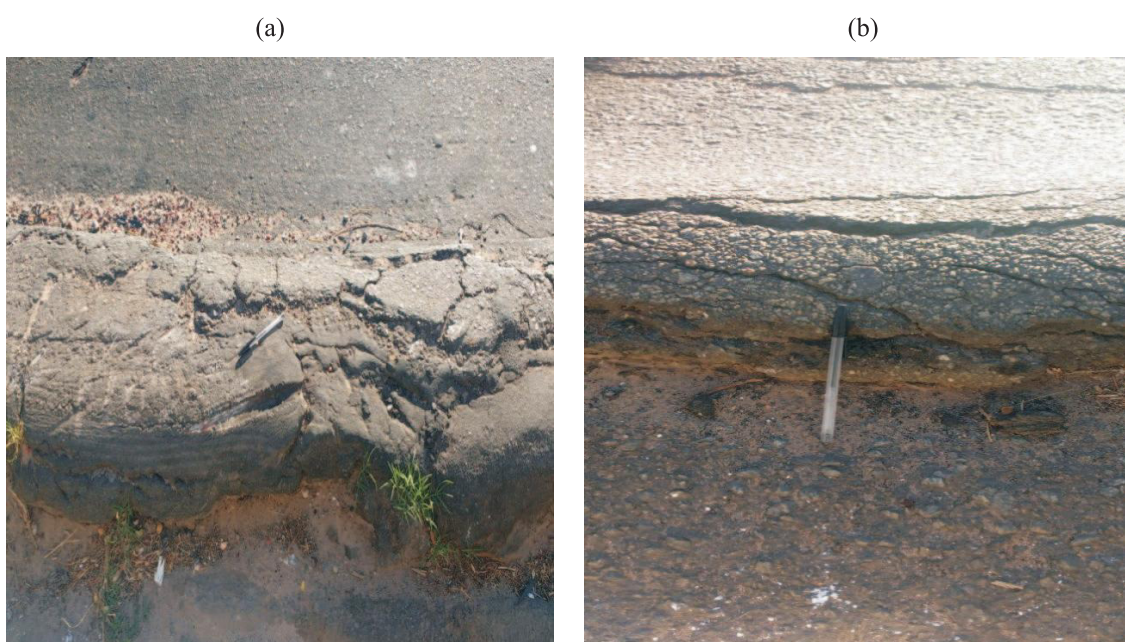
As panelas analisadas denotaram ausência de parte do revestimento e exposição das camadas inferiores (Figura 57). Quanto aos escorregamentos de massa asfáltica, desfeitos estes que são decorrentes da fluência do revestimento asfáltico, foram observados casos evidentes junto às depressões localizadas, às trilhas de roda e às bordas de pavimentos (Figura 58)

Figura 57 – Panelas nas estações (a) 132 e (b) 228



Fonte: Autor (2017)

Figura 58 – Escorregamentos de massa asfáltica nas estações (a) 34 e (b) 170



Fonte: Autor (2017)

Na sequência ficaram os remendos, executados, em sua maioria, sem cuidados técnicos adequados, visto que outros defeitos eram observáveis na extensão dos mesmos, como as ondulações. Esse agravante é causado por instabilidade da mistura betuminosa, que é uma consequência típica de recapeamento asfáltico mal executado (Figura 59).

Figura 59 – (a) Remendo trincado e (b) ondulado nas estações 142 e 167, respectivamente



Fonte: Autor (2017)

Dentre os remendos observados, destacaram-se alguns originários de intervenções em redes subterrâneas (Figura 60). Estes são indicativos de repavimentação executada em função de intervenção em rede subterrânea de infraestrutura pública ou privada (água, esgoto, entre outras). Outrossim, foram recorrentes vários casos de imperfeições, tais como trincas, desníveis e desagregação de material nos suportes de concreto das tampas de poços de visita da Avenida Getúlio Vargas (Figura 61).

Figura 60 – Remendo de intervenção em rede subterrânea na estação 111



Fonte: Autor (2017)

Figura 61 – Imperfeições em tampa de PV nas estações (a) 45 e (b) 149



Fonte: Autor (2017)

Destaca-se que no intervalo das estações 167 e 174 foram observados deslocamentos do revestimento asfáltico e consequente exposição do antigo calçamento em paralelepípedo, pavimento intertravado (Figura 62). Tal situação comumente encontrada nas cidades históricas brasileiras reflete um tipo de execução inadequada de pavimentação asfáltica, o que gera sérias consequências a curto, médio e longo prazo.

Figura 62 – Deslocamento do revestimento asfáltico na estação 168



Fonte: Autor (2017)

No que se refere às deformações permanentes, os afundamentos por consolidação, caracterizados pela formação de depressões no sentido longitudinal das vias e ausência de deslocamentos laterais ou elevações das áreas adjacentes, foram menos recorrentes em comparação aos afundamentos plásticos, caracterizados por formação de depressões no sentido longitudinal das vias acompanhadas de deslocamentos laterais ou elevações das áreas adjacentes (Figura 63) em função do deslocamento de parte da estrutura. Dessa forma, pode-se evidenciar o processo

de fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento da Avenida Getúlio Vargas.

Quanto às medições realizadas nas flechas das depressões, obteve-se valores maiores para as trilhas de roda externas, o que era esperado. É importante frisar que, em algumas estações, a presença de remendos dificultou a leitura das flechas, implicando em valores negativos. Para estes casos, foram realizadas as aproximações mais sensatas possíveis. A Figura 64 ilustra o afundamento plástico de trilha de roda mais expressivo da Avenida Getúlio Vargas.

Figura 63 – Solevamento lateral do afundamento plástico de trilha na estação 125



Fonte: Autor (2017)

Figura 64 – Afundamento plástico de trilha de roda na estação 187



Fonte: Autor (2017)

Por fim, a exsudação apresenta-se como o defeito menos expressivo na via de avaliação, conforme apresentado no gráfico da Figura 51. Por tratarem-se de casos pontuais, acredita-se

que o fenômeno está associado à fluência do ligante causada por alterações térmicas (Figura 65).

Figura 65 – Exsudação na estação 123



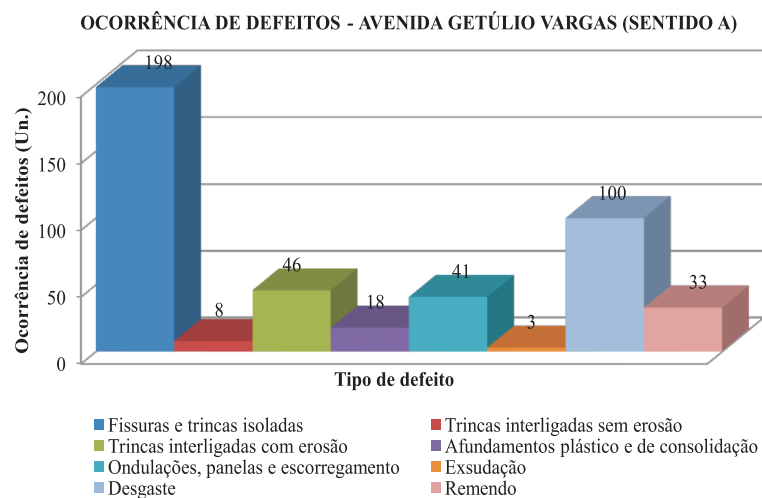
Fonte: Autor (2017)

Visto que determinados defeitos catalogados estiveram concentrados em algumas estações, e considerando que o trecho analisado é caracterizado por pista dupla, foi realizada uma segunda análise para cada sentido avaliado. Verifica-se, a seguir, ambas as análises.

Sentido A

A Figura 66 ilustra o gráfico de ocorrência de defeitos no sentido A de avaliação. A partir do mesmo, é possível visualizar a distribuição de frequência dos defeitos inventariados no determinado sentido.

Figura 66 – Ocorrência de defeitos no sentido A da Avenida Getúlio Vargas

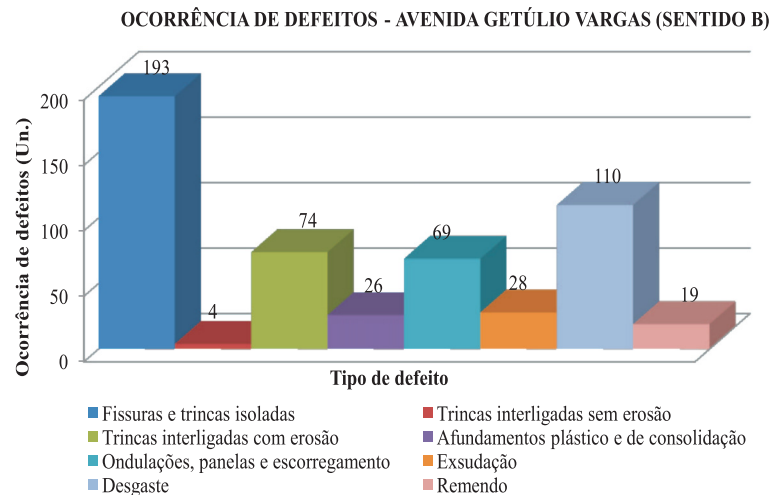


Fonte: Autor (2017)

Sentido B

A Figura 67 ilustra o gráfico de ocorrência de defeitos no sentido B de avaliação. A partir do mesmo, percebe-se a distribuição de frequência dos defeitos analisados, bem como as notáveis diferenças em relação aos defeitos do sentido A.

Figura 67 – Ocorrência de defeitos no sentido B da Avenida Getúlio Vargas



Fonte: Autor (2017)

O desmembramento das ocorrências em ambos os sentidos apresentou resultados heterogêneos. Observa-se que o sentido A apresenta maior frequência absoluta de remendos. Por sua vez, o sentido B apresenta trincas interligadas com erosão, exsudação e ondulações, panelas e escorregamento em frequências superiores. Os demais defeitos, trincas isoladas, deformações excessivas e desgaste ocorrem de maneira uniforme em ambos os sentidos.

Nesse contexto, visto que foram levantadas estações com condições funcionais variadas, surge a necessidade da divisão de toda a extensão analisada em segmentos de comportamento homogêneo, tarefa esta de fundamental importância nos projetos de restauração rodoviária afim de não onerar as soluções corretivas. O tópico 4.2 tratará da terceira análise baseada na divisão em subtrechos homogêneos, bem como os critérios adotados para tal divisão.

4.2 Divisão em Subtrechos Homogêneos

Um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) é um conjunto de métodos auxiliares utilizados em estratégias de construção, avaliação e manutenção de pavimentos em funcionalidade aceitável. Partindo desse pressuposto, a divisão em Segmentos Homogêneos (SH's) foi adotada como uma estratégia de auxílio para uma avaliação eficaz e confiável do pavimento estudado aliada ao fator custo x benefício.

Para a divisão em subtrechos, adotou-se como parâmetro o estado da superfície, em termos da natureza e extensão. Dessa forma, foi considerado a predominância dos quatro principais tipos de defeitos funcionalmente identificados, conforme ilustrados na Figura 51 (item 4.1). Sendo assim, a pista no sentido A foi subdividida em sete segmentos homogêneos, apresentados na Tabela 4 e Figura 68. Quanto à pista do sentido B, obteve-se oito segmentos homogêneos, apresentados na Tabela 5 e Figura 69.

Tabela 4 – Divisão dos Segmentos Homogêneos no sentido A

Segmento Homogêneo	Estaca		Extensão (m)
	Inicial	Final	
SH 01	1	18	340
SH 02	18	29	220
SH 03	29	51	440
SH 04	51	67	320
SH 05	67	80	260
SH 06	80	99	380
SH 07	99	115	320

Fonte: Autor (2017)

Tabela 5 – Divisão dos Segmentos Homogêneos no sentido B

Segmento Homogêneo	Estaca		Extensão (m)
	Inicial	Final	
SH 01	116	126	200
SH 02	126	139	260
SH 03	139	154	300
SH 04	154	165	220
SH 05	165	178	260
SH 06	178	189	220
SH 07	189	211	440
SH 08	211	230	380

Fonte: Autor (2017)

Vale ressaltar que os segmentos homogêneos obedeceram a extensão mínima de 200 m estabelecida pelo DNER (1997), embasada em razões de cunho construtivo. Tal metodologia facilitou a obtenção de trechos contínuos com características semelhantes.

De acordo com os resultados da Figura 68, nota-se que os segmentos SH 01, SH 03, SH 05 e SH 07, do sentido A, apresentam a predominância de trincas isoladas, desgaste, bem como ondulações, panelas e escorregamento. Enquanto que nos segmentos SH 01, SH 03, SH 05 e SH 07, do sentido B (Figura 69), é evidente a predominância de trincas interligadas com erosão. Tal resultado confirma a necessidade da divisão em segmentos homogêneos para redução de custos em soluções de restauração rodoviária.

Figura 68 – Divisão dos Segmentos Homogêneos no sentido A

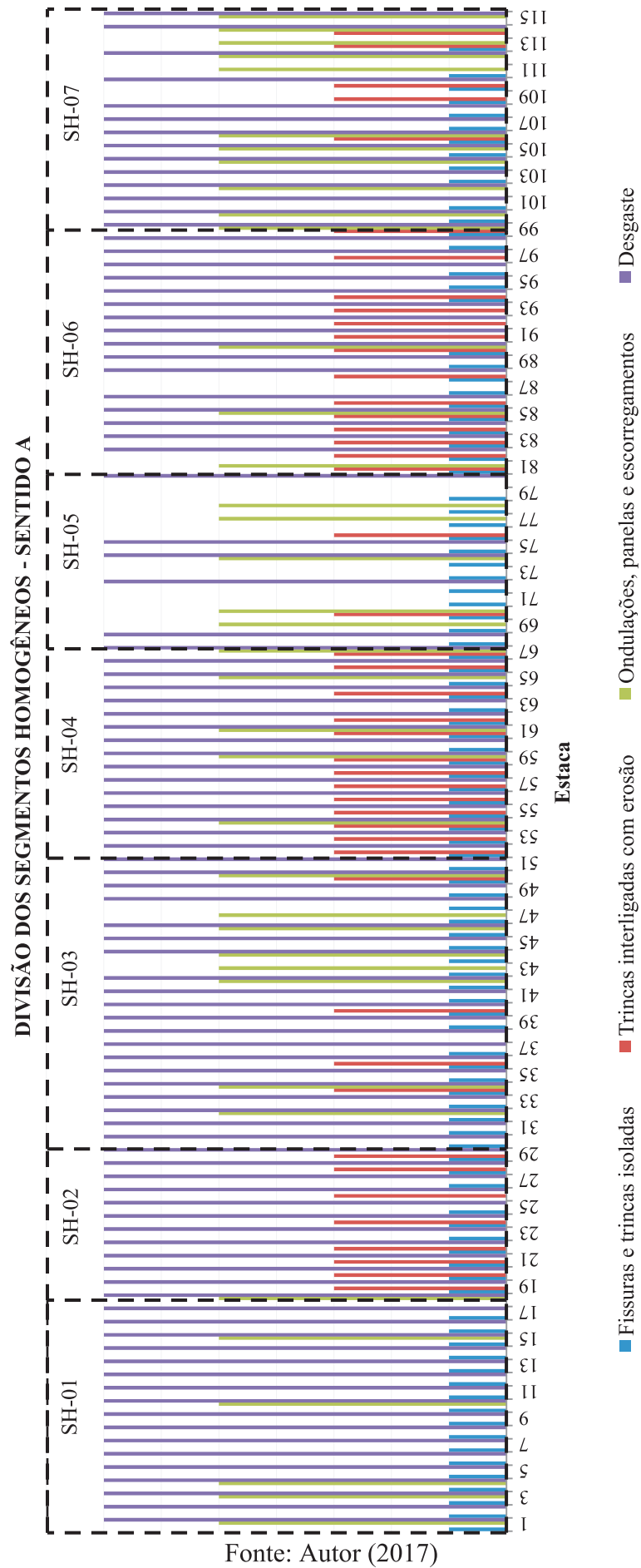
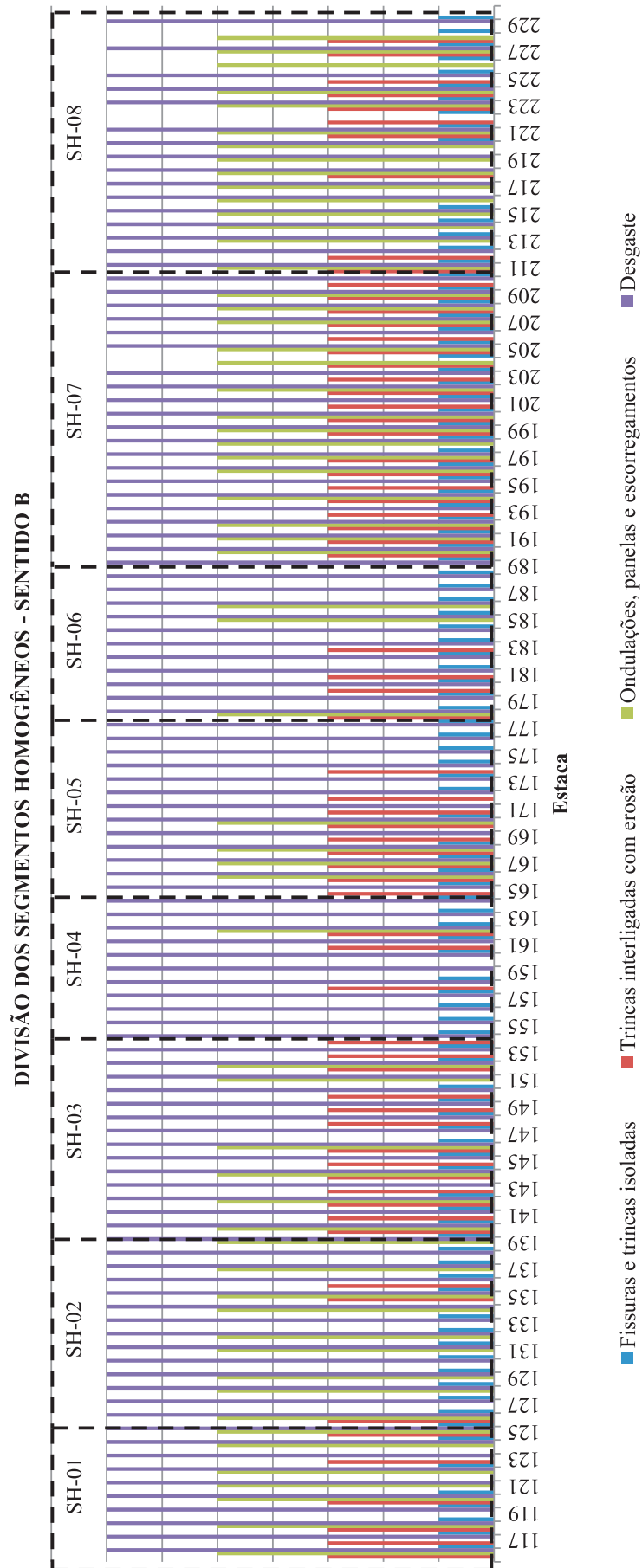


Figura 69 – Divisão dos Segmentos Homogêneos no sentido B



Fonte: Autor (2017)

4.3 Índice de Gravidade Global

A Tabela 6 contém o resumo dos valores de IGG para cada segmento homogêneo e seus respectivos conceitos. Tais valores são resultados do tratamento de dados realizado nas planilhas de cálculo do Índice de Gravidade Global, no Apêndice B. Os diagramas unifilares de toda a extensão avaliada da Avenida Getúlio Vargas, conforme conceito de cada segmento homogêneo, são apresentados na Figura 70.

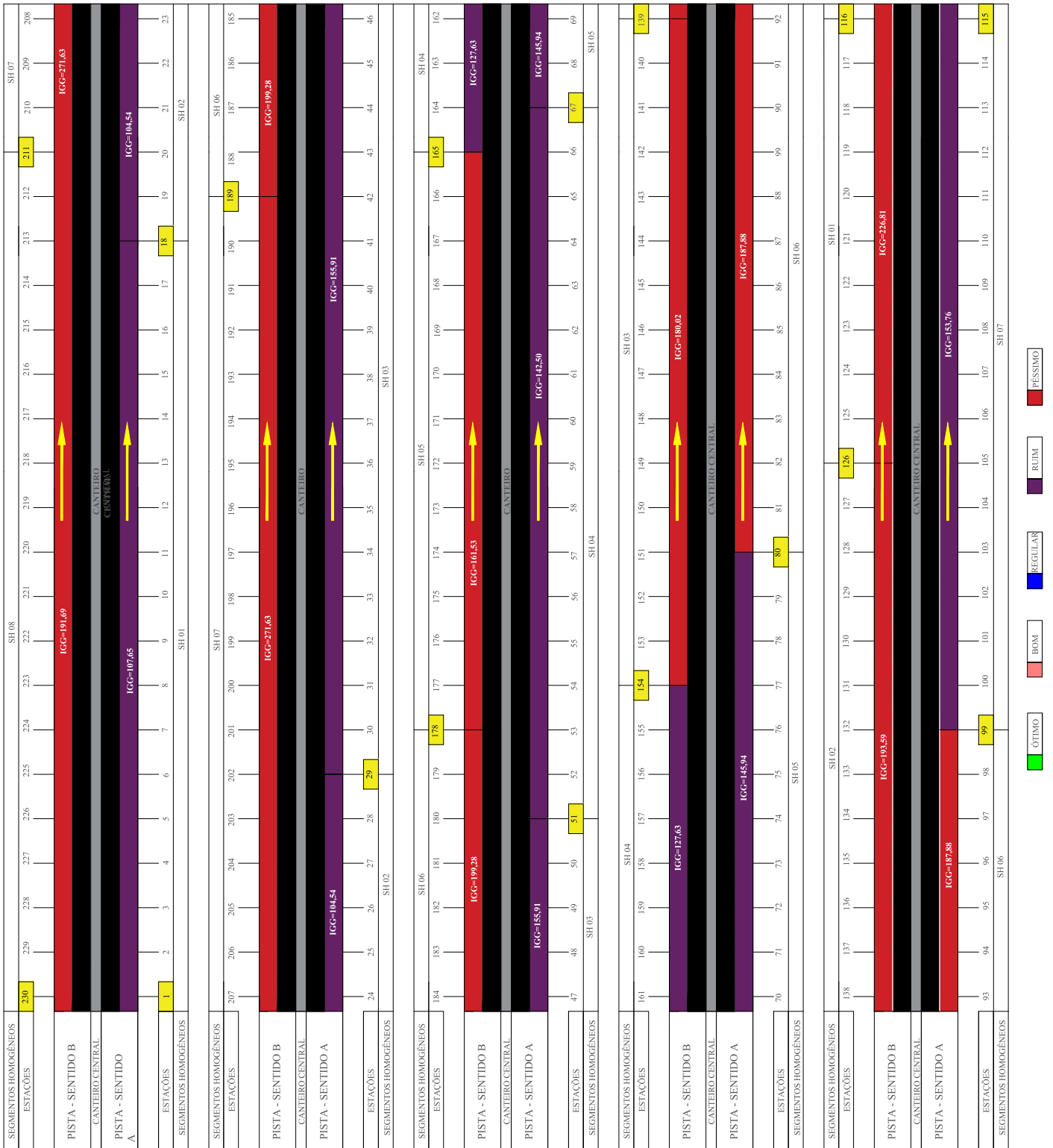
Tabela 6 – Resultados dos IGG's dos sentidos A e B

Sentido	Subtrecho	IGG	Conceito
A	SH - 01	107,65	RUIM
	SH - 02	104,54	RUIM
	SH - 03	155,91	RUIM
	SH - 04	142,50	RUIM
	SH - 05	145,94	RUIM
	SH - 06	187,88	PÉSSIMO
	SH - 07	153,76	RUIM
B	SH - 01	226,81	PÉSSIMO
	SH - 02	193,59	PÉSSIMO
	SH - 03	180,02	PÉSSIMO
	SH - 04	127,63	RUIM
	SH - 05	161,53	PÉSSIMO
	SH - 06	199,28	PÉSSIMO
	SH - 07	271,63	PÉSSIMO
	SH - 08	191,69	PÉSSIMO

Fonte: Autor (2017)

Os resultados obtidos apontam um elevado grau de deterioração da superfície do pavimento avaliado, refletindo as condições não favoráveis de segurança e comodidade. O gráfico da Figura 71 correlaciona as condições funcionais dos dois sentidos avaliados. Nota-se que no sentido A, 87,71% dos segmentos homogêneos apresentaram condições ruins. No sentido B, a situação é mais agravante, com a predominância de 87,50% dos segmentos em situações péssimas. Tais resultados mostram que a Avenida Getúlio Vargas apresenta conceitos desfavoráveis quanto à serventia funcional e, portanto, e não assegura aos usuários conforto e segurança ao

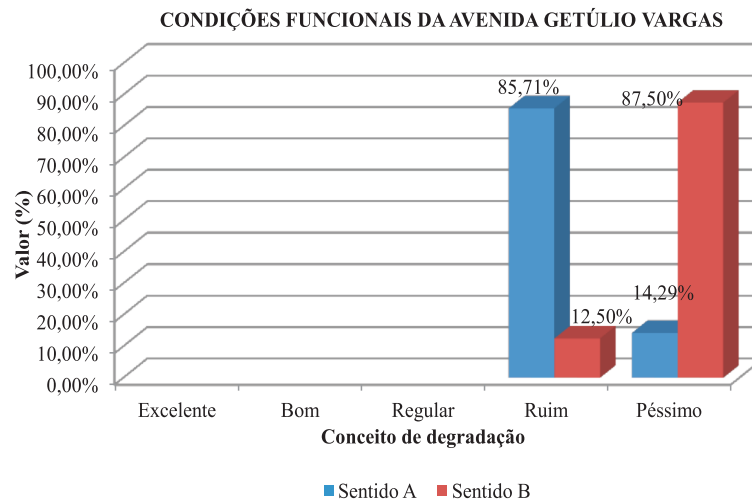
Figura 70 - Diagramas unifilares dos SH's da Av. Getúlio Vargas



Fonte: Autor (2017)

rolamento.

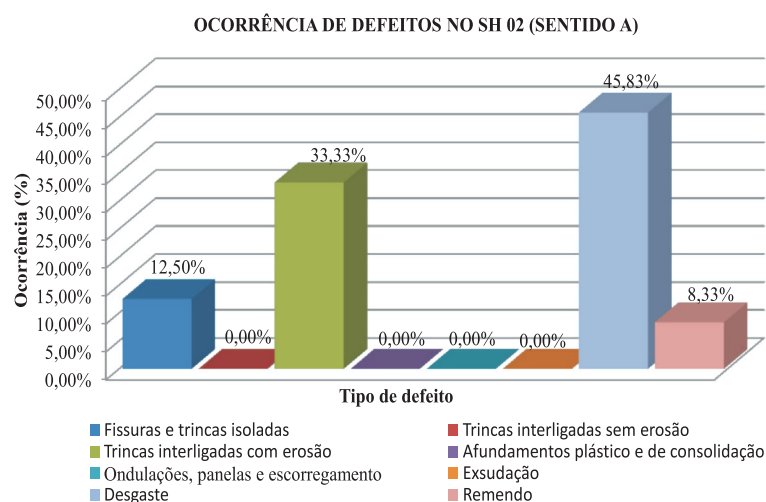
Figura 71 – Distribuição porcentual das condições funcionais da Avenida Getúlio Vargas



Fonte: Autor (2017)

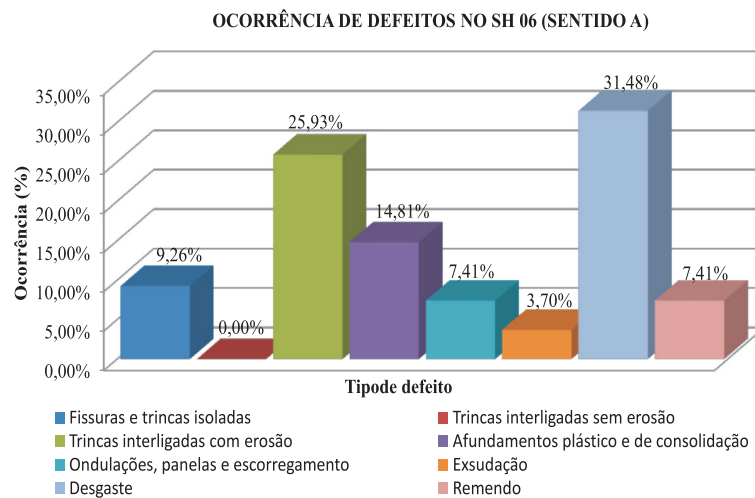
De acordo com o exposto anteriormente na Tabela 6, foi realizado a distribuição porcentual dos defeitos dos SH's de menor e maior IGG de cada sentido avaliado, de forma a visualizar os principais defeitos que levaram a estes resultados. No sentido A, os segmentos de menor e maior IGG são os SH-02 (Figura 72) e SH-06 (Figura 73), respectivamente. Em ambos, é notável um percentual elevado de desgaste, seguido imediatamente pela taxa de trincas interligadas.

Figura 72 – Distribuição de defeitos do segmento de menor IGG no sentido A



Fonte: Autor (2017)

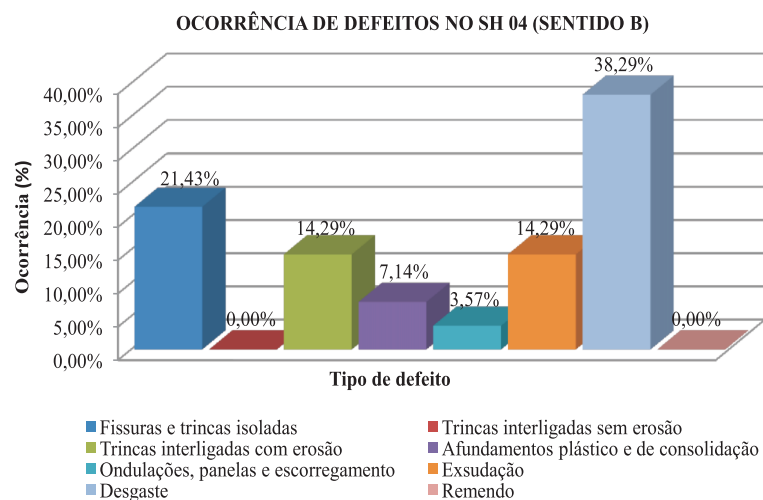
Figura 73 – Distribuição de defeitos do segmento de maior IGG no sentido A



Fonte: Autor (2017)

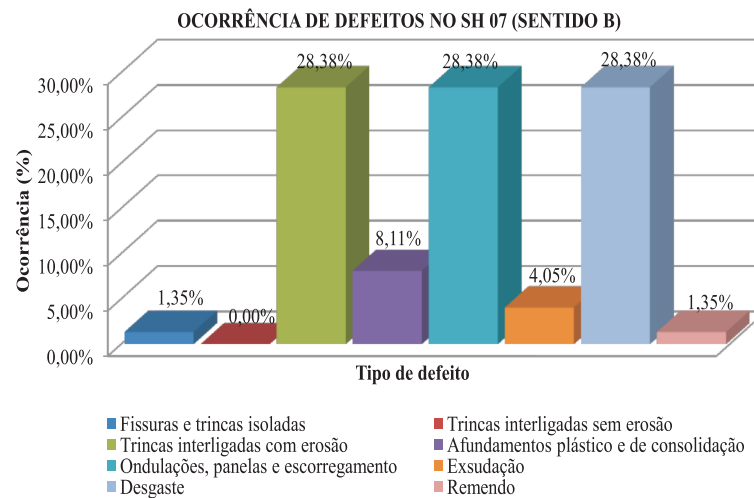
Para o sentido B, os SH-04 (Figura 74) e SH-07 (Figura 75) são, nessa ordem, os segmentos de menor e maior IGG. Nos mesmos, além de verificado as taxas de desgaste e trincas FC-3 em demasia, é observado maior porcentagem de trincas isoladas e exsudação no SH-04 bem como maior porcentagem de painéis e escorregamentos de massa no SH-07, justificando as condições superficiais mais desfavoráveis no Trecho.

Figura 74 – Distribuição de defeitos do segmento de menor IGG no sentido B



Fonte: Autor (2017)

Figura 75 – Distribuição de defeitos do segmento de maior IGG no sentido B



Fonte: Autor (2017)

4.4 Análise dos Resultados

Ao final da realização dos resultados individuais, torna-se possível apontar algumas considerações. O sentido B, de um modo geral, tem maior incidência de trincas interligadas com erosão, com indicação de um processo de ruptura por fadiga acentuado nos pontos de incidência. O mesmo apresenta também uma frequência relevante de escorregamentos e painéis, indícios de severa degradação do revestimento, uma vez que estas últimas são a evolução das trincas interligadas e, quando muito profundas, podem alterar a estrutura do pavimento. Todos esses fatores aliados às maiores ocorrências de deformações excessivas registradas em planilhas evidenciam significativo volume de tráfego de veículos de carga no referido sentido de avaliação.

Por sua vez, o sentido A sofreu menos com processos de fadiga, motivo pelo qual apresenta menor número de trincas, principalmente as interligadas, o que convém afirmar menor solicitação de cargas no mesmo. Apresenta também maior incidência de remendos, o que confirma as operações emergenciais de “tapa-buraco” realizadas na Avenida, conforme mencionado no item 3.3.4.

Em relação aos pontos de desgaste, são consequências dos fenômenos de envelhecimento, endurecimento e intemperização do ligante. Essa deficiência evidencia a perda da estabilidade de ligação do ligante com os agregados em misturas CBUQ, resultado também do tráfego intenso.

Diante dos resultados obtidos, os conceitos Ruim e Péssimo atribuídos à cada segmento homogêneo avaliado reforçam a necessidade de intervenções na Av. Getúlio Vargas afim de reestabelecer as condições funcionais da mesma e proporcionar melhores condições de tráfego. A restauração com o MRAF, previsto em projeto referido no item 3.1, apresenta-se como uma

solução viável para a correção dos defeitos superficiais existentes, uma vez que os mesmos podem estar associados à diversos problemas nas camadas subjacentes ao revestimento.

O MRAF é recomendado como manutenção corretiva para o tratamento de irregularidades, selagem de trincas, correção de desgastes superficiais e preenchimento de trilhas de roda de pavimento flexíveis, defeitos estes recorrentes na Avenida Getúlio Vargas (VANCÔR; SEVERO; UWER, 2004; SMITH; BEATTY, 1999). Conforme ABEDA (2010), destacam-se ao MRAF as características de preservação da estrutura do pavimento, em função da entrada de água e ar no pavimento; restabelecimento das condições ideais da superfície do rolamento; alta produtividade e rapidez na execução e liberação dos serviços, além da melhora de condições de segurança, meio ambiente e saúde, por ser uma técnica empregada a temperatura ambiente e não conter solventes derivados de petróleo e sem riscos de explosões.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões obtidas por meio da realização da presente monografia, bem como algumas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros. Ressalta-se que as conclusões restringem-se ao universo do objeto de estudo, contemplando os resultados e análises do levantamento sistemático de defeitos realizado.

5.1 Conclusões

Baseado na coleta de dados e nas análises realizadas neste estudo, as principais conclusões foram:

- I A avaliação periódica de pavimentos é crucial para a verificação das condições funcionais de vias urbanas e para a tomada de decisões;
- II A delimitação dos segmentos homogêneos é uma tarefa de extrema importância para os trabalhos de avaliação funcional; esta técnica permite o diagnóstico seguro da condição atual do pavimento e a adoção de alternativas de manutenção economicamente apropriadas;
- III O conhecimento dos tipos de defeitos é essencial para uma avaliação precisa, de forma a direcionar as melhores técnicas de recuperação e manutenção dos pavimentos das vias urbanas;
- IV A Prefeitura Municipal de São Luís carece de um banco de dados, com o histórico, a descrição do tipo de pavimento, dados geométricos, extensões, bem como de Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), sendo as atividades de recuperação realizadas de acordo com os números de reclamação da população e que exigem metodologias de recuperação de grande envergadura e custos elevados;
- V O trecho avaliado da Avenida Getúlio Vargas apresentou resultados não satisfatórios, o que demonstra o elevado grau de deterioração do pavimento. Para os dois sentidos de tráfego avaliados, o sentido Av. João Pessoa - Canto da Fabril apresentou 85,71% dos segmentos homogêneos em condições ruins, enquanto o sentido oposto exibiu situação mais agravante, com a predominância de 87,50% dos segmentos em situações péssimas;
- VI O pavimento do sentido B apresentou maior quantidade de defeitos por fadiga e reflexão de trincas, evidenciando maior solicitação de carga no pavimento;
- VII Os defeitos inventariados indicaram que as principais causas estão associadas à execução, padronização e utilização de materiais, ausência de controle tecnológico, bem como ao intenso tráfego local.

Dados os resultados obtidos torna-se imprescindível alertar quanto à necessidade de manutenções corretivas e preventivas na Avenida em estudo, objetivando o alcance de um pavimento em boas condições de trafegabilidade e que ofereça segurança adequada aos usuários da via. No contexto geral, espera-se fomentar a gestão do Poder Público nos processos de monitoramento e conservação das vias da cidade.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Sugere-se, para fins de continuidade desta pesquisa, os seguintes estudos:

- I A realização de estudos sobre a medição da irregularidade longitudinal em meio urbano. Este parâmetro é o principal indicativo dos níveis de segurança, economia e conforto de rolamento, que, sob enfoque dos usuários são as qualidades mais importantes dos pavimentos;
- II Levantamento de defeitos pela norma DNIT-PRO 007/2003, a qual permite avaliar a extensão dos defeitos de superfície por meio da medição da área atingida;
- III Levantamento com o Falling Weight Deflectometer (FWD) considerando diferentes níveis de carga, objetivando à análise da não linearidade das camadas de base, sub-base, reforço e subleito;
- IV Ensaios de Viga Benkelman e o método de avaliação subjetiva através do Valor de Serventia Atual;
- V Análise da macrotextura e microtextura do revestimento analisado nesta pesquisa;
- VI Estudo detalhado do Microrrevestimento Asfáltico a Frio como solução de restauração funcional do pavimento da Avenida Getúlio Vargas;
- VII Estudo comparativo de demais revestimentos asfálticos em locais com alto volume de tráfego.

REFERÊNCIAS

- ADAM, J. **Roman Building: Materials and Techniques**. London: Taylor & Francis, 1999. Citado na página 23.
- ALBANO, J. F. **Efeitos dos Excessos de Carga sobre a Durabilidade de Pavimentos**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005. Citado na página 56.
- ALMEIDA, J. **Análise estrutural de pavimentos rígidos pelo método dos elementos finitos**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 1986. Citado na página 30.
- ALVES, T. S. F. **Metodologias de auscultação de pavimentos rodoviários :aplicação prática do Radar de prospecção e do Deflectómetro de impacto**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007. Citado na página 40.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO Guide for Design of Pavement Structures**. Washington, 1993. Citado 3 vezes nas páginas 27, 56 e 66.
- ASPHALT INSTITUTE. **The asphalt handbook**. Lexington, 1989. Citado na página 53.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM. **Principais vantagens do pavimento de concreto**. 2017. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/vantagem.htm>>. Acesso em: 20 jul. 2017. Citado na página 33.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO. **Manual básico de emulsões asfálticas. Soluções para pavimentar sua cidade**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2010. Citado 4 vezes nas páginas 49, 50, 53 e 104.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7207**: Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro, 1982. 22 p. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 27.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14948**: Microrrevestimentos asfálticos a frio modificados por polímero: materiais, execução e desempenho. Rio de Janeiro, 2003. 8 p. Citado na página 50.
- AZEVEDO, M. C. M. **Dimensionamento do reforço de Pavimentos: Introdução**. Almada: [s.n.], 2005. Curso Conservação de Estradas: Noções gerais e controle de qualidade de obra, Estradas de Portugal, E.P.E. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 55.
- AZEVEDO, M. D.; PAIS, J.; PEREIRA, P. A reflexão de fendas no dimensionamento de reforços de pavimentos flexíveis. In: 1º CONGRESSO RODOVIÁRIO PORTUGUÊS: A QUALIDADE RODOVIÁRIA NA VIRAGEM DO SÉCULO, 2000, Lisboa. **Anais...** Lisboa, 2000. p. 627–637. Citado na página 27.
- BALAGUER, M. **Avaliação estrutural de um pavimento flexível executado em Asfalto-Borracha elaborado pelo processo de produção contínua em usina**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2012. Citado na página 46.

- BALBO, J. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. [S.l.]: Oficina de Textos, 2007. Citado 9 vezes nas páginas 19, 26, 27, 30, 31, 32, 34, 35 e 56.
- BASTOS, J. **Considerações sobre a deformação permanente de pavimentos asfálticos no dimensionamento mecanístico-empírico**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2016. Citado na página 60.
- BAUER, L. **Materiais de construção: 1**. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 2000. Citado na página 33.
- BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás, Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto, 2008. Citado 24 vezes nas páginas 19, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 33, 35, 41, 42, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 60, 61, 63 e 64.
- BITTENCOURT, E. **Caminhos e estradas na geografia dos transportes**. Rio de Janeiro: Editora Rodovia, 1958. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.
- BONDT, A. Effect of reinforcement properties. proceedings pro-11. In: 4TH INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE ON REFLECTIVE CRACKING IN PAVEMENTS: RESEARCH IN PRACTICE, 2000, Ottawz. **Anais eletrônicos...** Ottawz, 2000. p. 13–22. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 60.
- BRANCO, F.; PEREIRA, P.; SANTOS, L. **Pavimentos rodoviários**. Coimbra: Edições Almedina, 2008. Citado 6 vezes nas páginas 30, 32, 36, 39, 43 e 56.
- BUHLER, A. V. Desempenho de rodovias em tsd: Uma abordagem econométrica. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 2000, Ottawz. **Anais...** Ottawz, 2003. p. 3. Citado na página 54.
- CEMENT ASSOCIATION OF CANADIAN. The benefits of concrete roads. In: 2009 ANNUAL CONFERENCE OF THE TRANSPORTATION ASSOCIATION OF CANADA, 2009, Vancouver. **Anais...** Vancou-ver, 2009. Citado na página 33.
- CARVALHO, D. **Vantagens e benefícios do whitetopping na reabilitação de pavimentos**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2008. Citado na página 30.
- CERATTI, J. A. P.; NUÑEZ, W. P. N. **Estudo de Desempenho de Pavimento Experimental com objetivo de validar método racional de dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**. Porto Alegre: Projeto de Pesquisa CONCEPA, 2011. Citado na página 45.
- CHEN, J. et al. Development of a mechanistic-empirical model to characterize rutting in flexible pavement. **Journal of Transportation Engineering-asce - J TRANSP ENG-ASCE**, 2004. Rio de Janeiro, v. 130, jul. 2004. Citado na página 46.
- COMPANHIA CONCESSÃO RODOVIÁRIA JUIZ DE FORA-RIO. **Álbum da Estrada União e Indústria**. Rio de Janeiro, 1997. Citado na página 26.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de Rodovias 2017: relatório gerencial**. 21. ed. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 26.

- CRUZ, L. M. **Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003. Citado na página 24.
- DANIELESKI, M. **Proposta de metodologia para avaliação superficial de pavimentos urbanos: aplicação à rede viária de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Citado 7 vezes nas páginas 43, 58, 59, 61, 66, 67 e 89.
- DAVID, D. **Misturas asfálticas recicladas a frio: estudo em laboratório utilizando emulsão e agente emulsionado**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Citado na página 53.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DOS ESTADO DE SÃO PAULO. **Projeto de Restauração de Pavimento**. São Paulo, 2006. Citado na página 67.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - ES 317. **Pavimentação: pré-misturados a frio**. Rio de Janeiro, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 96.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006. 274 p. Citado 3 vezes nas páginas 27, 36 e 37.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de projeto e práticas operacionais para segurança nas rodovias**. Rio de Janeiro, 2010a. 280 p. Citado na página 28.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - PRO 006. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos**. Rio de Janeiro, 2003b. 10 p. Citado 9 vezes nas páginas 68, 69, 70, 80, 81, 82, 83, 84 e 86.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - PRO 007. **Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos**. Rio de Janeiro, 2003c. 11 p. Citado na página 71.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - PRO 008. **Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos**. Rio de Janeiro, 2003d. 11 p. Citado 2 vezes nas páginas 72 e 73.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - PRO 009. **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos**. Rio de Janeiro, 2003e. 6 p. Citado na página 73.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES-ES 150. **Pavimentação asfáltica: lama asfáltica**. Rio de Janeiro, 2010b. 9 p. Citado na página 50.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES TER 005. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: Ter 005**. Rio de Janeiro, 2003a. 12 p. Citado 6 vezes nas páginas 56, 57, 60, 64, 70 e 83.
- DRESCH, F. **Gerência de pavimentos urbanos: utilização de levantamento visual contínuo para avaliação das vias principais pavimentadas de Santa Rosa/RS**. 2014. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil), Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Ijuí, Brasil. Citado 4 vezes nas páginas 41, 43, 64 e 65.

- ESTEVES, S. F. **Reciclagem de pavimentos betuminosos. Influência da granulometria nas propriedades mecânicas de misturas recicladas a frio com emulsão.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Citado na página 40.
- ESTRADAS DE PORTUGAL S. A. **Catálogo de degradações das Estradas de Portugal.** Lisboa, 2008. Citado 4 vezes nas páginas 58, 62, 63 e 65.
- FERREIRA, J. M. **Pavimentos em Espaços Públicos Urbanos :contribuição para a Análise e Concepção de Soluções.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2007. Citado 3 vezes nas páginas 55, 62 e 65.
- FIGUEIREDO, N. P. **Avaliação e conservação de pavimentos rodoviários municipais com baixo tráfego: Contribuição para uma metodologia de apoio.** Dissertação (Mestrado) — Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 62.
- FRANCISCO, A. P. **Comportamento estrutural de pavimentos rodoviários flexíveis.** Dissertação (Mestrado) — Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2012. Citado 6 vezes nas páginas 23, 28, 30, 34, 36 e 63.
- FRANCKEN, L.; BEUVING, E.; MOLENAAR, A. **Reflective Cracking in Pavements: Design and performance of overlay systems.** [S.l.]: Taylor & Francis, 1996. (RILEM proceedings). Citado na página 58.
- FREITAS, M. R. **Avaliação numérica do comportamento de reforços de pavimento à reflexão de fendas.** Dissertação (Mestrado) — Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2012. Citado na página 63.
- GODINHO, D. **Pavimento intertravado: uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Citado na página 25.
- GONÇALVES, F. **Diagnostico E Manutenção De Pavimentos: Ferramentas Auxiliares.** [S.l.]: UPF Editora, 2016. Citado na página 19.
- GORDON, R. Condition rating methods for pavement system. In: PAVEMENT SYSTEMS MANAGEMENT WORKSHOP, 1985, Albury. **Anais eletrônicos...** Australia, 1985. Citado na página 66.
- HAAS, R.; HUDSON, W. **Pavement Management Systems.** [S.l.]: R.E. Krieger Publishing Company, 1978. Citado na página 66.
- HAAS, R.; HUDSON, W.; ZANIEWSKI, J. **Modern pavement management.** [S.l.]: Krieger Pub. Co., 1994. Citado na página 66.
- HAGEN, V. **A estrada do sol.** São Paulo: Edições Melhoramentos, 1995. Citado na página 23.
- HUANG, H. **Pavement Analysis and Design.** [S.l.]: Pearson Education, 2008. Citado na página 36.
- INSTITUTO DE INFRA-ESTRUTURAS RODOVIÁRIAS. **Diretivas para a concepção de pavimentos: disposições normativas:** Caemed. Rio de Janeiro, 2009. Citado 4 vezes nas páginas 29, 30, 32 e 44.

JIMENÉZ, F. E. **Manual de Pavimentação**. Espanha: CEPESA, 2007. Citado 6 vezes nas páginas 34, 37, 40, 42, 56 e 65.

JUNTA AUTÔNOMA DE ESTRADAS. **Manual de concepção de pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional**. Lisboa, 1995. Citado 3 vezes nas páginas 37, 40 e 56.

KANDHAL, P. et al. **Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments: Participant's Reference Book**. [S.l.]: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1997. Citado na página 51.

KAY, R. et al. **Pavement Surface Condition Rating Manual**. [S.l.]: Washington State Department of Transportation, 1992. Citado na página 59.

KAY, R. et al. **Pavement Guide. Pavement Notes for Design, Evaluation and Rehabilitation**. [S.l.]: Washington State Department of Transportation, 1995. Citado na página 62.

KNAPTON, J. Romans and their roads. the original small element pavement technologists. In: IV INTERNATIONAL CONCRETE BLOCK AVING CONFERENCE, 1996, Tel-Aviv. **Anais...** Israel, 1996. Citado na página 24.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. **Vocabulário de Estradas e Aeródromos**: Especificação e1 do Inec. Lisboa, 1962. Citado 3 vezes nas páginas 29, 38 e 39.

LARSEN, J. **Tratamento superficial na construção e conservação de rodovias**. [S.l.]: ABEDA, 1985. (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos. Trabalho técnico). Citado na página 54.

MADRID, G. G. Acredite: Rodovias com intertravados já são realidade. **Revista Prisma**, 2004. Rio de Janeiro, n. 1, 2004. Citado na página 24.

MARCON, A. F.; CARDOSO, S. H.; APS, M. Considerações sobre métodos de avaliação de superfície de pavimentos. In: 19 REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 1995, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá, 1995. Citado na página 67.

MARGARY, I. **Roman roads in Britain**. [S.l.]: Baker, 1967. Citado na página 23.

MASCARENHAS NETO, J. **Methodo para construir as estradas em Portugal**. [S.l.]: Na officina de A. Alvarez Ribeiro, 1790. Citado na página 25.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 34.

MENDES, S. F. **Caracterização mecânica de misturas betuminosas a aplicar em infra-estruturas de transportes**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2011. Citado na página 38.

MESQUITA, J. C. **Pavimento rígido como alternativa econômica para pavimentação rodoviária. Estudo de caso: Rodovia BR-262, Miranda, Morro do Azeite – MS**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Citado na página 33.

MINHOTO, M. J. C. **Considerações da temperatura no comportamento à reflexão de fendas dos reforços de pavimentos rodoviários flexíveis**. Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, 2005. Citado na página 28.

- MORAIS, H. M. M. **Estudo da fundação dum pavimento rodoviário flexível**. Bragança: [s.n.], 2011. Relatório final de projeto apresentado ao Curso de Mestrado em Engenharia da Construção da Escola Superior de Tecnologia e de Gestão do Instituto Politécnico de Bragança. Citado 3 vezes nas páginas 38, 39 e 73.
- MOREIRA H. S. AND SILVEIRA, M. A. S. J. B. Estudo de dosagem de misturas asfálticas recicladas a frio no ceará. In: 21º REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 2003, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre, 2003. p. 22–25. Citado na página 51.
- MOSCATELLI, I. **Fibras de aço em concreto de cimento Portland aplicados a pavimento**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001. Citado na página 33.
- NEVES, J. **Características de Superfície dos Pavimentos**. 2014. Documento elaborado para apoio às aulas teóricas e de laboratório da disciplina Construção e Manutenção de Infraestruturas de Transportes do Curso de Arquitetura e Georrecursos do Instituto Superior Técnico de Lisboa. Citado na página 38.
- O ESTADO DO MARANHÃO. **Bairro alegre e movimentado vive nas lembranças de seus moradores**. São Luís, 2015. 2 p. Caderno Cidades - Especial Bairros Tradicionais. Citado na página 77.
- O’FLAHERTY, C. **Highways: Highway engineering**. [S.l.]: Edward Arnold, 1986. (Highways). Citado na página 40.
- OLIVEIRA J.R.M., P. P. S. L. Assessment of pavement rehabilitation impact on the user costs: A portuguese case study. In: 1ST INT. CONF. TRANSPORT INFRASTRUCTURES (ICTI), 2008, Beijing. **Anais eletrônicos...** Beijing, 2008. Citado na página 66.
- PAIS, J. C. **Consideração da Reflexão de Fendas no Dimensionamento de Reforços de Pavimentos Flexíveis**. Tese (Doutorado) — Universidade do Minho, Braga, 1999. Citado na página 58.
- PEREIRA, H. **Indicador de pavimentação no município de Vitória**. Dissertação (Mestrado) — Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito, Vitória, 2010. Citado na página 26.
- PEREIRA, O. A. **Pavimentos Rodoviários**. São Paulo: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1971. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 36.
- PEREIRA, P.; MIRANDA, V. **Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários**. Braga: Universidade do Minho, 1999. Citado 5 vezes nas páginas 27, 30, 36, 55 e 56.
- PETRÓLEO, I. B. do. **Informações básicas sobre materiais asfálticos**. [S.l.]: Instituto Brasileiro de Petróleo, 1976. Citado na página 49.
- PINELO, A. M. S. **Projeto e observação de pavimentos rodoviários**. Lisboa: LNEC, 1991. Citado na página 27.
- PINTO, J. **Caracterização superficial de pavimentos rodoviários**. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Porto, Porto, 2003. Citado 3 vezes nas páginas 63, 64 e 65.
- PINTO, S.; PREUSLER, E. **Pavimentação Rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro: Synergia,IBP, 2010. Citado na página 46.

- PITTA, M. R. **Construção de pavimentos de concreto simples**. São Paulo: ABCP, 1989. Citado na página 32.
- PREGO, A. da S. **A memória da pavimentação no Brasil**. [S.l.]: Associação Brasileira de Pavimentação, 2001. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 26.
- REIS, A. C. C. **Propriedades mecânicas de misturas asfálticas recicladas em usina protótipo de escala reduzida**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2013. Citado na página 53.
- REIS, N. **Análise estrutural de pavimentos rodoviários: aplicação a um pavimento Reforçado com Malha de Aço**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 43.
- REIS, R. M. M. **Manual básico de emulsões asfálticas**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2010. Citado na página 51.
- RIBAS, M. **A história do Caminho do Ouro em Paraty**. 2. ed. Paraty: Contest Produções Culturais, 1958. Citado na página 24.
- RIBEIRO, R. M. **Aplicação de mistura betuminosa aberta com betume modificado com alta incorporação de borracha na reabilitação de pavimentos rodoviários**. Dissertação (Mestrado) — Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Viseu, 2012. Citado na página 63.
- SÃO LUÍS. Lei municipal nº 3.253, 29 de dezembro de 1992. dispõe sobre o zoneamento, parce-lamento, uso e ocupação do solo urbano e dá outras providências. **Diário Oficial do Município**, 1992. São Luís, MA, 1992. Citado na página 77.
- SANDBERG, U. M. **Rolling Resistance: Basic information and state of the art on measurement methods**. San Diego: Swedish National Road and Transport Research Institute, 2011. Citado na página 27.
- SANTANA, H. Pavimentos de baixo custo e solos lateríticos. In: 4º SEMINÁRIO SOBRE SOLOS LATERÍDICOS, 1992, São Luís. **Anais...** São Luís, 1992. p. 22–25. Citado 3 vezes nas páginas 49, 50 e 53.
- SANTOS, M. J. L. **Dimensionamento de camada de reforço de pavimentos rodoviários flexíveis**. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Aveiro, Aveiro, 2009. Citado na página 40.
- SENÇO, W. de. **Manual de técnicas de pavimentação**. [S.l.]: Pini, 1997. Citado 3 vezes nas páginas 30, 49 e 50.
- SILVA, H. M. R. D. **Caracterização do mástique betuminoso e da ligação agregado-mástique. Contribuição para o estudo do comportamento das misturas betuminosas**. Tese (Doutorado) — Universidade do Minho, Minho, 2005. Citado 4 vezes nas páginas 40, 45, 63 e 64.
- SILVA, P. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. [S.l.]: PINI, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 61.

- SILVA, R. J. **Contribuição para o desenvolvimento de modelos de previsão de fendilhamento de pavimentos rodoviários**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012. Citado na página 64.
- SMITH, R. E.; BEATTY, C. K. Micro-surfacing usage guidelines. In: 78th TRANSPORTATION RESEARCH BOARD -TRB, 1999, Washington. **Anais eletrônicos...** Washington, 1999. Citado na página 104.
- SOUZA, F. S. V. **Avaliação do desempenho de pavimentos restaurados por meio de técnicas de reciclagem de materiais de pavimentação**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 52.
- STAKE, R. E. Case studies. In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (Ed.). **Handbook of Qualitative Research**. Thousand Oaks: Sage Publications, 2005. cap. 17. Citado na página 75.
- TORRÃO, H. C. **Reabilitação de Pavimentos Rodoviários Flexíveis**. Bragança: [s.n.], 2015. Relatório final de projeto apresentado ao Curso de Mestrado em Engenharia da Construção da Escola Superior de Tecnologia e de Gestão do Instituto Politécnico de Bragança. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 42.
- UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Hot Mix Asphalt Paving Handbook**. USA, 2000. Citado na página 48.
- VANCÔR, L. F. P.; SEVERO, L. E. P.; UWER, P. Perda por abrasão do micro revestimento asfáltico a frio: procedimento para controle tecnológico e aplicação prática. In: 35 REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO ABPV, 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2004. Citado na página 104.
- VICENTE, A. M. M. **A utilização de betumes modificados com borracha na reabilitação de pavimentos flexíveis**. Dissertação (Mestrado) — da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006. Citado 3 vezes nas páginas 36, 44 e 56.
- VIDEIRA, F. I. B. **Manual de Conservação de pavimentos para pequenas redes rodoviárias municipais: bases para a sua elaboração**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 37, 55 e 59.
- WALKER, F. K.; HICKS, R. G. The use of sand asphalt in highway construction. **Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists**, 1976. v. 45, p. 429–452, 1976. Citado na página 49.
- WATSON, J. **Highway Construction and Maintenance**. [S.l.]: Longman Scientific & Technical, 1989. Citado na página 38.
- YODER, E.; WITCZAK, M. **Principles of Pavement Design**. [S.l.]: Wiley, 1975. (A Wiley-Interscience publication). Citado na página 30.
- ZAGONEL, A. **Inovações em revestimentos asfálticos utilizados no Brasil**. 2013. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil apresentado à Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Citado 2 vezes nas páginas 51 e 54.

Tabela 8 – Inventário 2A

Estaca ou km		INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																Observações				
		TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						
FI		ISOLADAS				INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONSOLID.		O	P	E	EX	D	R	TRI mm	TRE mm	
		TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	FC-2	FC-3	FC-3	ALP	ATP	ALC	ATC									J
1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	7	8			
22		X		X				X										X				
23			X	X														X				
24		X						X										X				
25			X	X														X				
26								X										X				
27			X	X														X				
28		X	X	X				X										X				
29		X	X	X				X										X				
30			X	X														X				
31				X														X				
32		X		X														X				
33					X													X			11,7	11,0
34		X	X	X	X													X				
35		X	X	X				X										X				
36		X	X	X														X				
37		X																X				
38		X																X				
39																		X				
40				X	X													X				
41				X	X				X									X				
42		X		X	X													X			9,1	11,4

Fonte: Autor (2017)

Tabela 9 – Inventário 3A

Estaca ou km		INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																				Observações		
		TRINCAS										AFUNDAMENTOS					OUTROS DEFEITOS							
		ISOLADAS					INTERLIGADAS					PLÁSTICO		CONSOLID.			O	P	E	EX	D		R	TRI
FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	J	TB	FC-2	FC-3	JE	TBE	ALP	APP	ALC	ATC	O <td>P <td>E <td>EX <td>D <td>R <td>TRI</td> <td>TRE</td> </td></td></td></td></td>	P <td>E <td>EX <td>D <td>R <td>TRI</td> <td>TRE</td> </td></td></td></td>	E <td>EX <td>D <td>R <td>TRI</td> <td>TRE</td> </td></td></td>	EX <td>D <td>R <td>TRI</td> <td>TRE</td> </td></td>	D <td>R <td>TRI</td> <td>TRE</td> </td>	R <td>TRI</td> <td>TRE</td>	TRI	TRE	
1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	7	8	8	mm	mm
43		X				X											X				X			
44	X	X	X	X													X			X	X			
45				X																X	X			
46	X		X													X				X	X			
47	X		X													X				X	X			
48	X	X	X													X				X	X			
49	X																			X	X			
50			X							X						X				X	X			
51			X																	X	X			
52			X							X										X	X			
53	X									X										X	X			
54	X		X							X						X				X	X			
55	X									X										X	X			
56	X		X							X										X	X			
57	X									X										X	X			
58	X		X							X										X	X			
59										X										X	X			
60			X																	X	X			
61			X	X						X						X				X	X			
62	X		X	X						X										X	X			
63				X																X	X			

Fonte: Autor (2017)

Tabela 10 – Inventário 4A

Estaca ou km		INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																				Observações		
		TRINCAS										AFUNDAMENTOS					OUTROS DEFEITOS							
		ISOLADAS					INTERLIGADAS					PLÁSTICO		CONSOLID.			O	P	E	EX	D		R	TRI
FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	J	TB	FC-2	FC-3	JE	TBE	ALP	ATP	ALC	ATC	5	5	5	6	7	8	mm	mm	
1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	7	8			
64	X								X											X	X			
65	X	X																		X	X			
66	X		X	X						X										X	X			
67	X									X						X				X	X			
68	X		X	X																X	X			
69			X	X																	X	X		
70			X	X						X												11,4	11,9	
71	X	X										X										10,9	12,2	
72	X		X	X																X				
73	X			X																				
74	X		X	X																X				
75			X	X									X							X	X			
76	X		X	X						X												11,1	11,9	
77			X	X																				
78	X		X	X								X				X						13,8	11,6	
79				X								X										14,8	18,7	
80																				X	X			
81	X		X	X						X														
82	X		X	X						X										X	X			
83										X											X			
84	X		X	X						X			X								X	X	11,5	12,0

Fonte: Autor (2017)

Tabela 11 – Inventário 5A

Estaca ou km		INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																				FOLHA 05		Observações
		TRINÇAS										AFUNDAMENTOS					OUTROS DEFEITOS							
		ISOLADAS					INTERLIGADAS					PLÁSTICO		CONSOLID.			O	P	E	EX	D			
FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	J	TB	FC-2	FC-3	JE	TBE	ALP	ATP	ALC	ATC	5	5	5	6	7	8	mm	mm	
1	1	1	1	1	1																			
85	X	X		X					X	X							X				X			
86	X		X	X																	X			
87	X			X								X												
88	X		X	X					X	X				X										
89	X		X	X								X												
90	X		X	X																	X			
91																								
92																								
93																								
94	X			X																				
95				X																				
96			X	X								X												
97			X	X								X												
98	X		X	X																				
99				X																				
100	X		X	X																				
101			X	X				X																
102																								
103	X																							
104	X		X																					
105	X		X																					

Fonte: Autor (2017)

Tabela 13 – Inventário 1B

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																						
RODOVIA: AVENIDA GETÚLIO VARGAS TRECHO: SENTIDO B DATA: 29/10/2017													OPERADOR: MARIANA LISBOA REVESTIMENTO TIPO: CBUQ									
													FOLHA 01									
Estaca ou km	TRINCAS						AFUNDAMENTOS						OUTROS DEFEITOS						Observações			
	ISOLADAS			INTERLIGADAS			PLÁSTICO			CONSOLID.			O	P	E	EX	D	R		TRI mm	TRE mm	
FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	J	TB	FC-2	FC-3	JE	TBE	ALP	ATP	ALC	ATC	5	5	5	6	7	8	
116	1	1	1	1	1				X			4	4	4	4	X						
117	X	X	X						X							X				X	X	
118			X						X							X				X	X	
119		X				X										X				X	X	
120				X												X				X	X	
121		X	X													X				X	X	
122															X	X				X	X	
123	X	X	X						X							X				X	X	
124																X				X	X	
125			X						X							X				X	X	
126				X					X							X				X	X	
127			X	X					X							X				X	X	
128			X													X				X	X	
129		X	X													X				X	X	
130			X											X		X				X	X	
131	X	X	X										X			X				X	X	
132			X													X				X	X	
133	X	X	X	X												X				X	X	
134	X		X													X				X	X	
135														X		X				X	X	
136				X										X		X				X	X	

Fonte: Autor (2017)

Tabela 15 – Inventário 3B

Estaca ou km		INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																				FOLHA 03		
		RODOVIA: AVENIDA GETÚLIO VARGAS										OPERADOR: MARIANA LISBOA										OUTROS DEFEITOS		Observações
		TRECHO: SENTIDO B										REVESTIMENTO TIPO: CBUQ												
DATA: 29/10/2017		TRINCAS					INTERLIGADAS					AFUNDAMENTOS					O							
ISOLADAS		FC-2		FC-3		ATP		ALC		ATC		EX		R		TRI		TRE						
FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	J	TB	JE	TBE	ALP	ATP	ALC	ATC	O	P	E	EX	D	R	TRI	TRE			
1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	7	8					
158			X					X										X						
159	X	X		X														X						
160																		X						
161	X			X				X			X									10,4	11,1			
162	X		X					X						X										
163	X	X		X																				
164	X																	X						
165	X		X	X		X		X			X										9,8	10,7		
166	X							X							X						10,4	11,1		
167	X							X							X					X				
168		X						X																
169			X	X				X																
170								X																
171	X	X	X	X				X																
172			X	X				X			X							X			10,0	12,3		
173	X		X	X				X			X										10,9	11,8		
174			X	X				X																
175	X	X	X	X		X																		
176		X	X	X													X							
177	X		X	X																				
178	X	X	X	X				X																

Fonte: Autor (2017)

Tabela 16 – Inventário 4B

Estaca ou km		INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																				Observações		
		TRINCAS										AFUNDAMENTOS					OUTROS DEFEITOS							
		ISOLADAS					INTERLIGADAS					PLÁSTICO		CONSOLID.			O	P	E	EX	D		R	TRI
FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	J	TB	FC-2	FC-3	JE	TBE	ALP	ATP	ALC	ATC	5	5	5	6	7	8	mm	mm	
179	X	1	1	X	1	2	2	3	3			4	✕	4	4						X		10,1	10,9
180			X							X					X				X		X		11,3	11,8
181	X		X	X						X											X			
182			X																	X				
183	X		X	X						X											X			
184	X		X	X																	X			
185	X		X	X																X				
186	X																				X			
187														X							X		15,9	18,7
188	X														X						X		9,8	10,2
189	X		X										X								X		11,7	12,3
190	X		X							X											X			
191	X		X							X											X			
192	X									X											X			
193	X		X							X											X			
194	X		X	X						X											X			
195	X		X	X						X											X			
196	X		X							X											X		12,1	13,7
197	X		X							X											X			
198			X	X						X											X			
199	X		X	X						X											X			

Fonte: Autor (2017)

Tabela 18 – Inventário 6B

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																				Observações			
RODOVIA: AVENIDA GETÚLIO VARGAS TRECHO: SENTIDO B DATA: 29/10/2017										OPERADOR: MARIANA LISBOA REVESTIMENTO TIPO: CBUQ											FOLHA 06		
Estaca ou km	TRINCAS										AFUNDAMENTOS					OUTROS DEFEITOS							
	ISOLADAS					INTERLIGADAS					PLÁSTICO		CONSOLID.			O	P	E	EX	D		R	TRI
FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	J	TB	FC-2	FC-3	JE	TBE	ALP	ATP	ALC	ATC	5	5	5	6	7	8	mm	mm
221	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	7	8	15,0	14,2
222			X	X						X													
223	X		X	X						X						X					X	12,6	13,9
224		X	X	X						X											X		
225	X									X											X		
226	X															X					X		
227	X									X						X					X		
228	X									X						X					X		
229																					X		
230																							

Fonte: Autor (2017)

APÊNDICE B – PLANILHAS DE ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL

Tabela 19 – Segmento 1 Sentido A

ANEXO B - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)										LOCALIZAÇÃO	
TRECHO: SENTIDO A										Estação inicial	Estação final
SUB-TRECHO: SEGMENTO 01										1	18
DATA: 14/11/2017											
FOLHA: 01											
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQÜÊNCIA ABSOLUTA	FREQÜÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQÜÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	Observações				
1	(FC -1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	30	12	66,67%	0,2	13,33					
2	(FC -2) J, TB	5	5	27,78%	0,5	13,89					
3	(FC -3) JE, TBE	0	0	0,00%	0,8	0,00					
4	ALP, ATP, ALC, ATC	3		16,67%	0,9	15,00					
5	O, P, E	7		5,56%	1,0	5,56					
6	EX	0		0,00%	0,5	0,00					
7	D	18		100,00%	0,3	30,00					
8	R	4		22,22%	0,6	13,33					
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 12,53	TRI = 10,53	F = 11,53	4/3 ⁽¹⁾	15,37					
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TRE _v = 1,05	TRI _v = 1,29	FV = 1,17	1 ⁽²⁾	1,17					
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 18		Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		107,65	CONCEITO		RUIM		
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30		2A) IGI = FV x 1 quando FV ≤ 50				OPERADOR			Mariana Lisboa		
1B) IGI = 40 quando F > 30		2B) IGI = 50 quando FV > 50				CÁLCULO			Mariana Lisboa		
						VISTO			Ana Carolina da Cruz Reis		

Tabela 20 – Segmento 2 Sentido A

ANEXO B - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)										LOCALIZAÇÃO		
TRECHO: SENTIDO A										Estação inicial	Estação final	
SUB-TRECHO: SEGMENTO 02										19	29	
DATA: 14/11/2017												
FOLHA: 01												
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES					
1	(FC - 1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	20	3	27,27%	0,2	5,45						
2	(FC - 2) J, TB	0	0	0,00%	0,5	0,00						
3	(FC - 3) JE, TBE	8	8	72,72%	0,8	58,18						
4	ALP, ATP, ALC, ATC	0		0,00%	0,9	0,00						
5	O, P, E	0		0,00%	1,0	0,00						
6	EX	0		0,00%	0,5	0,00						
7	D	11		100,00%	0,3	30,00						
8	R	2		18,18%	0,6	10,91						
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 0	TRI = 0	F = 0	4/3 ⁽¹⁾	0,00						
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TRE _v = 0	TRI _v = 0	FV = 0	1 ⁽²⁾	0,00						
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 11	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		104,54		CONCEITO		RUIM			
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30		2A) IGI = FV x 1 quando FV ≤ 50										
1B) IGI = 40 quando F > 30		2B) IGI = 50 quando FV > 50										
		OPERADOR		Mariana Lisboa								
		CÁLCULO		Mariana Lisboa								
		VISTO		Ana Carolina da Cruz Reis								

Tabela 21 – Segmento 3 Sentido A

ANEXO B - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)										LOCALIZAÇÃO	
TRECHO: SENTIDO A										Estação inicial	Estação final
SUB-TRECHO: SEGMENTO 03										30	51
DATA: 14/11/2017											
FOLHA: 01											
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQÜÊNCIA ABSOLUTA	FREQÜÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQÜÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES				
1	(FC -1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	40	13	59,09%	0,2	11,82					
2	(FC -2) J, TB	3	3	13,64%	0,5	6,82					
3	(FC -3) JE, TBE	4	4	18,18%	0,8	14,54					
4	ALP, ATP, ALC, ATC	2		9,09%	0,9	8,18					
5	O, P, E	11		50,00%	1,0	50,00					
6	EX	0		0%	0,5	0,00					
7	D	20		90,91%	0,3	27,27					
8	R	8		36,36%	0,6	21,82					
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 11,2	TRI = 10,4	F = 10,8	4/3 ⁽¹⁾	14,40					
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 0,28	TRIV = 1,84	FV = 1,06	1 ⁽²⁾	1,06					
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 22	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		155,91		CONCEITO				
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30							RUIM				
1B) IGI = 40 quando F > 30							OPERADOR				
							Mariana Lisboa				
							CÁLCULO				
							Mariana Lisboa				
							VISTO				
							Ana Carolina da Cruz Reis				
							2A) IGI = FV x 1 quando FV ≤ 50				
							2B) IGI = 50 quando FV > 50				

Tabela 22 – Segmento 4 Sentido A

ANEXO B - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)										LOCALIZAÇÃO	
SUB-TRECHO: SEGMENTO 04										Estação inicial	Estação final
FOLHA: 01										52	67
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES				
1	(FC -1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	30	3	18,75%	0,2	3,75					
2	(FC -2) J, TB	0	0	0,00%	0,5	0,00					
3	(FC -3) JE, TBE	13	13	81,25%	0,8	65,00					
4	ALP, ATR, ALC, ATC	0		0,00%	0,9	0,00					
5	O, P, E	4		25,00%	1,0	25,00					
6	EX	0		0,00%	0,5	0,00					
7	D	16		100,00%	0,3	30,00					
8	R	5		31,25%	0,6	18,75					
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 0	TRI = 0	F = 0	4/3 ⁽¹⁾	0,00					
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 0	TRIV = 0	FV = 0	1 ⁽²⁾	0,00					
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 16	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		142,50		CONCEITO RUIM				
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30		2A) IGI = FV x 1 quando FV ≤ 50		OPERADOR		Mariana Lisboa					
1B) IGI = 40 quando F > 30		2B) IGI = 50 quando FV > 50		CÁLCULO		Mariana Lisboa					
				VISTO		Ana Carolina da Cruz Reis					

Tabela 23 – Segmento 5 Sentido A

ANEXO B - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)										LOCALIZAÇÃO		
TRECHO: SENTIDO A										Estação inicial	Estação final	
SUB-TRECHO: SEGMENTO 05										68	80	
DATA: 14/11/2017												
FOLHA: 01												
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES					
1	(FC - 1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	20	10	76,92%	0,2	15,38						
2	(FC - 2) J, TB	0	0	0,00%	0,5	0,00						
3	(FC - 3) JE, TBE	2	2	16,67%	0,8	13,34						
4	ALP, ATP, ALC, ATC	5		38,46%	0,9	34,61						
5	O, P, E	5		38,46%	1,0	38,46						
6	EX	1		7,69%	0,5	3,85						
7	D	5		38,46%	0,3	11,54						
8	R	2		15,38%	0,6	9,23						
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 13,26	TRI = 12,4	F = 12,83	4/3 ⁽¹⁾	17,11						
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREV = 3,05	TRIV = 1,78	FV = 2,42	1 ⁽²⁾	2,42						
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 13	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		145,94		CONCEITO		RUIM			
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30		2A) IGI = FV x 1 quando FV ≤ 50										
1B) IGI = 40 quando F > 30		2B) IGI = 50 quando FV > 50										
		OPERADOR		Mariana Lisboa								
		CÁLCULO		Mariana Lisboa								
		VISTO		Ana Carolina da Cruz Reis								

Tabela 24 – Segmento 6 Sentido A

ANEXO B - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)									
TRECHO: SENTIDO A SUB -TRECHO: SEGMENTO 06									
DATA: 14/11/2017 FOLHA: 01									
LOCALIZAÇÃO									
Estação inicial		81							
Estação final		99							
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES		
1	(FC -1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	35	5	26,32%	0,2	5,26			
2	(FC -2) J, TB	0	0	0,00%	0,5	0,00			
3	(FC -3) JE, TBE	14	14	73,68%	0,8	58,94			
4	ALP, ATP, ALC, ATC	8		42,11%	0,9	37,90			
5	O, P, E	4		21,05%	1,0	21,05			
6	EX	2		10,53%	0,5	5,27			
7	D	17		89,47%	0,3	26,84			
8	R	4		21,05%	0,6	12,63			
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 14,38	TRI = 13,04	F = 13,71	4/3 ⁽¹⁾	18,28			
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 1,44	TRIV = 1,97	FV = 1,71	1 ⁽²⁾	1,71			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 19	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		187,88		CONCEITO PÉSSIMO		
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30		2A) IGI = FV x 1 quando FV ≤ 50							
1B) IGI = 40 quando F > 30		2B) IGI = 50 quando FV > 50							
		OPERADOR		Mariana Lisboa					
		CÁLCULO		Mariana Lisboa					
		VISTO		Ana Carolina da Cruz Reis					

Tabela 25 – Segmento 7 Sentido A

ANEXO B - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)										LOCALIZAÇÃO	
TRECHO: SENTIDO A										Estação inicial	Estação final
SUB-TRECHO: SEGMENTO 07										100	115
DATA: 14/11/2017											
FOLHA: 01											
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES				
1	(FC -1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	22	7	43,75%	0,2	8,75					
2	(FC -2) J, TB	1	1	6,25%	0,5	3,13					
3	(FC -3) JE, TBE	5	5	31,25%	0,8	25,00					
4	ALP, ATP, ALC, ATC	0		0,00%	0,9	0,00					
5	O, P, E	10		62,50%	1,0	62,50					
6	EX	0		0,00%	0,5	0,00					
7	D	13		81,25%	0,3	24,38					
8	R	8		50,00%	0,6	30,00					
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 0,00	TRI = 0,00	F = 0,00	4/3 ⁽¹⁾	0,00					
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREV = 0,00	TRIV = 0,00	FV = 0,00	1 ⁽²⁾	0,00					
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 16	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		153,76		CONCEITO				
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30							OPERADOR				
1B) IGI = 40 quando F > 30							CÁLCULO				
							VISTO				
							Mariana Lisboa				
							Mariana Lisboa				
							Ana Carolina da Cruz Reis				

Tabela 26 – Segmento 1 Sentido B

ANEXO C - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)										LOCALIZAÇÃO		
SUB-TRECHO: SEGMENTO 01										Estação inicial	Estação final	
FOLHA: 01										116	126	
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES					
1	(FC -1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	14	1	9,09%	0,2	1,82						
2	(FC -2) J, TB	1	1	9,09%	0,5	4,55						
3	(FC -3) JE, TBE	7	7	63,64%	0,8	50,91						
4	ALP, ATP, ALC, ATC	2		18,18%	0,9	16,36						
5	O, P, E	9		81,82%	1,0	81,82						
6	EX	2		18,18%	0,5	9,09						
7	D	11		100%	0,3	30,00						
8	R	3		27,17%	0,6	16,30						
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 11,05	TRI = 10,5	F = 10,78	4/3 ⁽¹⁾	14,37						
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 1,06	TRIV = 2,12	FV = 1,59	1 ⁽²⁾	1,59						
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 11	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		226,81		CONCEITO		PÉSSIMO			
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30		2A) IGI = FV x 1 quando FV ≤ 50										
1B) IGI = 40 quando F > 30		2B) IGI = 50 quando FV > 50										
		OPERADOR		Mariana Lisboa								
		CÁLCULO		Mariana Lisboa								
		VISTO		Ana Carolina da Cruz Reis								

Tabela 27 – Segmento 2 Sentido B

ANEXO C - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)										LOCALIZAÇÃO	
TRECHO: SENTIDO B										Estação inicial	Estação final
SUB-TRECHO: SEGMENTO 02										127	139
DATA: 14/11/2017											
FOLHA: 01											
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES				
1	(FC -1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	22	11	84,62%	0,2	16,92					
2	(FC -2) J, TB	0	0	0,00%	0,5	0,00					
3	(FC -3) JE, TBE	2	2	15,38%	0,8	12,30					
4	ALP, ATP, ALC, ATC	3		23,08%	0,9	20,77					
5	O, P, E	9		69,23%	1,0	69,23					
6	EX	6		46,15%	0,5	23,08					
7	D	13		100,00%	0,3	30,00					
8	R	1		7,69%	0,6	4,61					
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 12,1	TRI = 10,23	F = 11,17	4/3 ⁽¹⁾	14,89					
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 0,72	TRIV = 2,86	FV = 1,79	1 ⁽²⁾	1,79					
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 13	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		193,59		CONCEITO PÉSSIMO				
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30							OPERADOR Mariana Lisboa				
1B) IGI = 40 quando F > 30							CÁLCULO Mariana Lisboa				
							VISTO Ana Carolina da Cruz Reis				

Tabela 28 – Segmento 3 Sentido B

ANEXO C - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)									
TRECHO: SENTIDO B									
SUB-TRECHO: SEGMENTO 03									
DATA: 14/11/2017									
FOLHA: 01									
					LOCALIZAÇÃO				
					Estação inicial	Estação final			
					140	154			
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES		
1	(FC - 1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	23	2	13,33%	0,2	2,67			
2	(FC - 2) J, TB	1	1	6,67%	0,5	3,34			
3	(FC - 3) JE, TBE	13	13	86,67%	0,8	69,34			
4	ALP, ATP, ALC, ATC	3		20,00%	0,9	18,00			
5	O, P, E	7		46,67%	1,0	46,67			
6	EX	3		20,00%	0,5	10,00			
7	D	15		100,00%	0,3	30,00			
8	R	3		20,00%	0,6	12,00			
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 12,6	TRI = 11,4	F = 12,00	4/3 ⁽¹⁾	16,00			
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREV = 1,93	TRIV = 0,56	FV = 1,25	1 ⁽²⁾	1,25			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 15	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		180,02				
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30		2A) IGI = FV x 1 quando FV ≤ 50			OPERADOR				
1B) IGI = 40 quando F > 30		2B) IGI = 50 quando FV > 50			CÁLCULO				
					VISTO				
					CONCEITO				
					PÉSSIMO				
					Mariana Lisboa				
					Mariana Lisboa				
					Ana Carolina da Cruz Reis				

Tabela 29 – Segmento 4 Sentido B

ANEXO C - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)										LOCALIZAÇÃO	
TRECHO: SENTIDO B										Estação inicial	Estação final
SUB-TRECHO: SEGMENTO 04										155	165
DATA: 14/11/2017											
FOLHA: 01											
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES				
1	(FC - 1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	21	6	54,55%	0,2	10,91					
2	(FC - 2) J, TB	1	0	0,00%	0,5	0,00					
3	(FC - 3) JE, TBE	4	4	36,36%	0,8	29,09					
4	ALP, ATP, ALC, ATC	2		18,18%	0,9	16,36					
5	O, P, E	1		9,09%	1,0	9,09					
6	EX	4		36,36%	0,5	18,18					
7	D	11		100,00%	0,3	30,00					
8	R	0		0,00%	0,6	0,00					
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 10,9	TRI = 10,1	F = 10,5	4/3 ⁽¹⁾	14,00					
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 0,28	TRIV = 0,42	FV = 0,35	1 ⁽²⁾	0,35					
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 11	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		127,63		CONCEITO				
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30							RUIM				
1B) IGI = 40 quando F > 30							OPERADOR				
							Mariana Lisboa				
							CÁLCULO				
							Mariana Lisboa				
							VISTO				
							Ana Carolina da Cruz Reis				
2A) IGI = FV x 1 quando FV ≤ 50											
2B) IGI = 50 quando FV > 50											

Tabela 30 – Segmento 5 Sentido B

ANEXO C - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)										LOCALIZAÇÃO	
TRECHO: SENTIDO B										Estação inicial	Estação final
SUB-TRECHO: SEGMENTO 05										166	178
DATA: 14/11/2017											
FOLHA: 01											
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES				
1	(FC - 1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	25	3	23,08%	0,2	4,62					
2	(FC - 2) J, TB	1	1	7,69%	0,5	3,85					
3	(FC - 3) JE, TBE	9	9	69,23%	0,8	55,38					
4	ALP, ATP, ALC, ATC	2		15,38%	0,9	13,84					
5	O, P, E	6		46,15%	1,0	46,15					
6	EX	2		15,38%	0,5	7,69					
7	D	13		100,00%	0,3	30,00					
8	R	1		7,69%	0,6	4,61					
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 12,05	TRI = 10,45	F = 11,25	4/3 ⁽¹⁾	15,00					
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 0,35	TRIV = 0,64	FV = 0,50	1 ⁽²⁾	0,50					
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 13	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		161,53		CONCEITO				
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30		2A) IGI = FV x 1 quando FV ≤ 50		OPERADOR		Mariana Lisboa					
1B) IGI = 40 quando F > 30		2B) IGI = 50 quando FV > 50		CÁLCULO		Mariana Lisboa					
				VISTO		Ana Carolina da Cruz Reis					

Tabela 31 – Segmento 6 Sentido B

ANEXO C - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)										LOCALIZAÇÃO	
TRECHO: SENTIDO B										Estação inicial	Estação final
SUB-TRECHO: SEGMENTO 06										179	189
DATA: 14/11/2017											
FOLHA: 01											
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES				
1	(FC - 1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	21	8	72,72%	0,2	14,54					
2	(FC - 2) J, TB	0	0	0,00%	0,5	0,00					
3	(FC - 3) JE, TBE	3	3	27,27%	0,8	21,82					
4	ALP, ATP, ALC, ATC	5		45,45%	0,9	40,91					
5	O, P, E	4		36,36%	1,0	36,36					
6	EX	2		18,18%	0,5	9,09					
7	D	11		100,00%	0,3	30,00					
8	R	5		45,45%	0,6	27,27					
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 12,78	TRI = 11,76	F = 12,27	4/3 ⁽¹⁾	16,36					
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 3,41	TRIV = 2,45	FV = 2,93	1 ⁽²⁾	2,93					
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 11	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		199,28		CONCEITO				
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30		2A) IGI = FV x 1 quando FV ≤ 50		OPERADOR		Mariana Lisboa					
1B) IGI = 40 quando F > 30		2B) IGI = 50 quando FV > 50		CÁLCULO		Mariana Lisboa					
				VISTO		Ana Carolina da Cruz Reis					

Tabela 32 – Segmento 7 Sentido B

ANEXO C - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)										LOCALIZAÇÃO	
TRECHO: SENTIDO B										Estação inicial	Estação final
SUB-TRECHO: SEGMENTO 07										190	211
DATA: 14/11/2017											
FOLHA: 01											
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES				
1	(FC - 1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	45	1	4,55%	0,2	0,91					
2	(FC - 2) J, TB	0	0	0,00%	0,5	0,00					
3	(FC - 3) JE, TBE	21	21	95,45%	0,8	76,36					
4	ALP, ATP, ALC, ATC	6		27,27%	0,9	24,54					
5	O, P, E	25		113,64%	1,0	113,64					
6	EX	3		13,64%	0,5	6,82					
7	D	21		95,45%	0,3	28,64					
8	R	1		4,55%	0,6	2,73					
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 12,6	TRI = 11,95	F = 12,28	4/3 ⁽¹⁾	16,37					
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 2,61	TRIV = 0,62	FV = 1,62	1 ⁽²⁾	1,62					
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 22	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		271, 63		CONCEITO				
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30							PÉSSIMO				
1B) IGI = 40 quando F > 30							OPERADOR				
							Mariana Lisboa				
							CÁLCULO				
							Mariana Lisboa				
							VISTO				
							Ana Carolina da Cruz Reis				
2A) IGI = FV x 1 quando FV ≤ 50											
2B) IGI = 50 quando FV > 50											

Tabela 33 – Segmento 8 Sentido B

ANEXO C - PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)										LOCALIZAÇÃO		
SUB-TRECHO: SENTIDO B										Estação inicial	Estação final	
DATA: 14/11/2017										212	230	
FOLHA: 01										ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES	
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA CONSIDERADA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES	
1	(FC - 1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	23	3	15,79%	0,2					3,16		
2	(FC - 2) J, TB	0	0	0,00%	0,5					0,00		
3	(FC - 3) JE, TBE	15	15	78,95%	0,823,69					63,16		
4	ALP, ATP, ALC, ATC	3		15,79%	0,9					14,21		
5	O, P, E	7		36,84%	1,0					36,84		
6	EX	6		31,58%	0,5					15,79		
7	D	15		78,95%	0,3					23,69		
8	R	5		26,32%	0,6					15,79		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 14,00	TRI = 13,40	F = 13,70	4/3 ⁽¹⁾					18,27		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 0,17	TRIV = 1,39	FV = 0,78	1 ⁽²⁾					0,78		
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 19	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG							191,69	CONCEITO	
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30											OPERADOR	Mariana Lisboa
1B) IGI = 40 quando F > 30											CÁLCULO	Mariana Lisboa
											VISTO	Ana Carolina da Cruz Reis