



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil



Chrystian Cleiderson Ventura

**AVALIAÇÃO FUNCIONAL DO PAVIMENTO DO CAMPUS
MORRO DO CRUZEIRO POR MEIO DO MÉTODO DO ÍNDICE
DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)**

Ouro Preto

2022

Avaliação funcional do pavimento do Campus Morro do Cruzeiro por meio do método do Índice de Gravidade Global (IGG)

Chrystian Cleiderson Ventura

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 04/11/2022

Área de concentração: Transportes

Orientador: Prof.^a D.Sc. Daniela Antunes Lessa – UFOP

Coorientador: M.Sc. Hebert da Consolação Alves – UFOP

Ouro Preto

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

V468a Ventura, Chrystian Cleiderson.
Avaliação funcional do pavimento do Campus Morro do Cruzeiro por meio do método do Índice de Gravidade Global (IGG). [manuscrito] / Chrystian Cleiderson Ventura. - 2022.
56 f.

Orientadora: Profa. Dra. Daniela Antunes Lessa.
Coorientador: Me. Hebert da Consolação Alves.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Pavimentos - Defeitos. 2. Pavimentos - Avaliação funcional. 3. Índice de Gravidade Global (IGG). 4. Inventários. 5. Universidade Federal de Ouro Preto (Campus Morro do Cruzeiro). I. Lessa, Daniela Antunes. II. Alves, Hebert da Consolação. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Chrystian Cleiderson Ventura

Avaliação funcional do pavimento do Campus Morro do Cruzeiro por meio do método do Índice de Gravidade Global (IGG)

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovada em 04 de novembro de 2022.

Membros da banca

Prof^ª. Dr^ª. Daniela Antunes Lessa - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Me. Hebert da Consolação Alves - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Prof^ª. Dr^ª. Ana Letícia Pilz de Castro - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Prof. Dr. Felipe de Campos Loch - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Daniela Antunes Lessa, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 04/11/2022.



Documento assinado eletronicamente por **Daniela Antunes Lessa, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/11/2022, às 14:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0422506** e o código CRC **0E5D06B8**.

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Edmar dos Santos Ventura e Aparecida
Adriana Mendes Ventura, minha âncora
em todos os momentos. A vocês, todo
meu amor e gratidão!*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre se fez presente ao longo desta jornada.

À minha família por todo o apoio e incentivo. Sou grato especialmente aos meus pais, Edmar e Aparecida, e ao meu irmão Patrick, por acreditarem e investirem no meu sonho de ser engenheiro. Agradeço também aos meus tios, Walter e Cidinha, que me receberam em seu lar durante grande parte da minha vida acadêmica.

À orientadora Prof.^a D.Sc. Daniela Antunes Lessa e ao coorientador M.Sc. Hebert da Consolação Alves pela atenção, apoio e dedicação na orientação desse trabalho. Ao Laboratório de Ferrovias e Asfalto do DECIV/UFOP pelo suporte técnico. Ao Márcio e à minha grande amiga Gabriela pelo auxílio no levantamento de campo.

À UFOP, à Escola de Minas e ao corpo docente pelo ensino de elevado nível, primordial à minha formação acadêmica e profissional. Ao PET Civil pelas imensuráveis experiências e oportunidades, além de ter se tornado uma verdadeira família. Ao CNPq pelo aporte financeiro. À PRACE, pela assistência estudantil. À Fundação Gorceix, pelos cursos de capacitação, pela parceria e pelo apoio financeiro.

Aos meus amigos de Catas Altas e aos que Ouro Preto me deu, que foram fiéis companheiros ao longo dessa jornada e que contribuíram para que ela se tornasse mais leve.

RESUMO

No Brasil, o modo de transporte rodoviário é o mais empregado na movimentação de mercadorias e de passageiros, tendo singular importância para o desenvolvimento social e econômico do país. No entanto, mais da metade da extensão das rodovias analisadas pela Confederação Nacional do Transporte (CNT), em 2021, apresenta desempenho regular, ruim ou péssimo do pavimento. Tais dados apontam para a necessidade de um melhor gerenciamento das rodovias, a partir de avaliações periódicas do pavimento, de modo a orientar o processo de manutenção das vias. Nesse contexto, a presente pesquisa dedicou-se a descrever os tipos de manifestações patológicas que ocorrem em pavimentos flexíveis e realizar uma avaliação funcional da superfície do pavimento do Campus Morro do Cruzeiro/UFOP, com base no método do Índice de Gravidade Global (IGG), padronizado pela Norma DNIT 006/2003 - PRO. Esse procedimento visa estabelecer um indicador numérico que caracterize o estado geral do pavimento, variando de 0 (ótimo) a 160 (péssimo), por meio de inventário e classificação dos defeitos. Para isso, foram demarcadas 94 superfícies de avaliação (estações) na faixa interna da via que circunda o Campus. As ocorrências de manifestações patológicas de cada estação, bem como as medidas da deflexão nas trilhas de roda, foram registradas em um inventário do estado da superfície do pavimento. Foram encontrados no trecho analisado diversos defeitos estruturais, tais como fissuras, trincas (isoladas e interligadas), afundamentos, panelas, desgaste e remendos. Estes apresentaram maior severidade em trechos submetidos a constantes esforços de frenagem e aceleração, como os pontos de ônibus. A partir das frequências contabilizadas dos defeitos foi calculado o IGG da faixa de trânsito estudada. O resultado encontrado aponta para a necessidade de intervenções no pavimento do Campus, a partir de estudos mais aprofundados sobre as possíveis causas das patologias observadas e da elaboração de um projeto adequado de restauração.

Palavras-chaves: pavimento, avaliação funcional, Índice de Gravidade Global, inventário, defeitos, Campus Morro do Cruzeiro.

ABSTRACT

In Brazil, road transport is the most widely used mode for moving goods and passengers, having singular importance for the social and economic development of the country. However, more than half of the roads analyzed by the National Transport Confederation (CNT) in 2021 have regular, poor or very poor pavement performance. Such data points to the need for better highway management, based on periodic evaluations of the pavement, to guide the road maintenance process. In this context, the present research was dedicated to describing the types of pathological manifestations that occur in flexible pavements and to perform a functional evaluation of the surface of the pavement at the Morro do Cruzeiro/UFOP Campus, based on the Global Severity Index (IGG) method, standardized by norm DNIT 006/2003 - PRO. This procedure aims to establish a numerical indicator that characterizes the general condition of the pavement, ranging from 0 (very good) to 160 (very poor), through inventory and classification of defects. To this purpose, 94 evaluation surfaces (stations) were demarcated on the inner lane of the road that surrounds the Campus. The occurrences of pathological manifestations at each station, as well as the measurements of wheel tracks deflection, were recorded in a pavement surface state inventory. Several structural defects were found in the analyzed section, such as fissures, cracks (isolated and interconnected), rutting, potholes, wear, and patches. These were more severe in stretches submitted to constant braking and acceleration efforts, such as bus stops. From the counted frequencies of the defects, the IGG of the studied traffic lane was calculated. The result found points to the need for interventions on the Campus pavement, based on more in-depth studies on the possible causes of the observed pathologies and the development of an appropriate restoration project.

Keywords: pavement, functional evaluation, Global Severity Index, inventory, defects, Morro do Cruzeiro Campus.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura genérica de um pavimento. Fonte: Balbo (2007).	6
Figura 2 - Fissuras no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.	11
Figura 3 - Trincas transversais no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.	13
Figura 4 - Trincas longitudinais no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.	14
Figura 5 - Trinca de retração. Fonte: Bernucci et al. (2008).	14
Figura 6 - Trincas do tipo “couro de jacaré” no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.	15
Figura 7 - Trincas do tipo "bloco" no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.	16
Figura 8 - Afundamento plástico de trilha de roda. Fonte: Bernucci et al. (2008).	17
Figura 9 - Afundamento de consolidação da trilha de roda somado a trincas “couro de jacaré” no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.	18
Figura 10 - Ondulação ou corrugação. Fonte: CNT (2017).	19
Figura 11 - Escorregamento do revestimento asfáltico. Fonte: CNT (2017).	19
Figura 12 - Exsudação na superfície de pavimento. Fonte: CNT (2017).	20
Figura 13 - Desgaste no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.	21
Figura 14 - Painelas no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.	22
Figura 15 - Remendos no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.	23

Figura 16 - Demarcação de estações. Fonte: Bernucci et al. (2008).	25
Figura 17 - Treliza metálica para medida de afundamentos em trilhas de roda. Fonte: Bernucci et al. (2008).	26
Figura 18 - Árvore de decisão para trincas em blocos. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).	30
Figura 19 - Árvore de decisão para trincas por fadiga do revestimento. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).	31
Figura 20 - Árvore de decisão para trincas transversais. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).	32
Figura 21 - Árvore de decisão para trincas longitudinais. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).	32
Figura 22 - Árvore de decisão para painelas. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).	32
Figura 23 - Árvore de decisão para remendos. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).	33
Figura 24 - Árvore de decisão para deformação permanente nas trilhas de roda. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).	33
Figura 25 - Árvore de decisão para corrugação. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).	34
Figura 26 - Árvore de decisão para exsudação. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).	34
Figura 27 - Árvore de decisão para desgaste. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).	34
Figura 28 - Fluxograma da metodologia aplicada. Fonte: Elaborado pelo autor.	35
Figura 29 - Faixa inventariada da via que circunda a UFOP. Fonte: Adaptado do Google Earth.	36
Figura 30 - Estação para inventário funcional. Fonte: Elaborado pelo autor.	37

Figura 31 - Trena analógica com roda. Fonte: Acervo próprio.....	38
Figura 32 - Aparelhagem utilizada na medida das flechas das trilhas de roda. Fonte: Acervo próprio.....	39
Figura 33 - Gráfico de frequência de patologias. Fonte: Elaborado pelo autor...	42
Figura 34 - Trincas “couro de jacaré” no pavimento do Campus. Fonte: Acervo próprio.....	44
Figura 35 - Remendos e panela no trecho entre estação 0 e estação 2. Fonte: Acervo próprio.....	45
Figura 36 - Remendos e panela no trecho entre estação 16 e estação 20. Fonte: Acervo próprio.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do tráfego baseado no número “N”. Fonte: Adaptado de PMSP (2004).....	9
Tabela 2 - Classificação das trincas quanto à gravidade. Fonte: Elaborado pelo autor.	12
Tabela 3 - Quadro resumo dos defeitos e codificação. Fonte: Adaptado de DNIT (2003).....	23
Tabela 4 - Fator de ponderação para cálculo do IGG. Fonte: Adaptado de DNIT (2003).....	27
Tabela 5 - Conceitos de degradação do pavimento. Fonte: DNIT (2003).....	29
Tabela 6 - Planilha de cálculo do IGG. Fonte: Adaptado de DNIT (2003).	43

LISTA DE SIGLAS

A – Afundamento

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*

ALC – Afundamento de consolidação local

ALP – Afundamento plástico local

ATC – Afundamento de consolidação da trilha de roda

ATP – Afundamento plástico de trilha de roda

CBR – Índice de Suporte Califórnia

CNT – Confederação Nacional do Transporte

D – Desgaste

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

E – Escorregamento

EX – Exsudação

F – Fenda

f_a – Frequência absoluta

FC-1 – Fenda classe 1

FC-2 – Fenda classe 2

FC-3 – Fenda classe 3

FI – Fissura

f_p – Fator de ponderação

f_r – Frequência relativa

IGG – Índice de Gravidade Global

IGI – Índice de Gravidade Individual

IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias

J – Trinca tipo “couro de jacaré”

JE – Trinca tipo “couro de jacaré” com erosão

km – Quilômetro

m – Metro

M&R – Manutenção e Reabilitação

MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional

mm – Milímetro

O – Ondulação ou Corrugação

P – Panela ou buraco

R – Remendo

RP – Remendo profundo

RS – Remendo superficial

SGP – Sistema de Gerência de Pavimentos

TB – Trinca tipo “bloco”

TBE – Trinca tipo “bloco” com erosão

TLC – Trinca longitudinal curta

TLL – Trinca longitudinal longa

TRE – Trilha de roda externa

TRI – Trilha de roda interna

TRR – Trinca de retração

TTC – Trinca transversal curta

TTL – Trinca transversal longa

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivo.....	2
1.1.1	Objetivos Específicos	3
2	Revisão Bibliográfica.....	4
2.1	Pavimentos	4
2.2	Dimensionamento de Pavimentos	8
2.3	Defeitos de Superfície em Pavimentos Flexíveis	9
2.3.1	Fenda	10
2.3.2	Afundamento	16
2.3.3	Ondulação ou Corrugação	18
2.3.4	Escorregamento	19
2.3.5	Exsudação.....	20
2.3.6	Desgaste	20
2.3.7	Panela ou buraco	21
2.3.8	Remendo.....	22
2.4	Avaliação do Pavimento	24
2.4.1	Método do Índice de Gravidade Global (IGG)	25
2.5	Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP)	29
2.5.1	Árvore de decisão	30
3	Metodologia	35
3.1.1	Caracterização da área de estudos.....	39

4	Resultados	41
5	Conclusão	48
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	49
	Referências.....	50
	Apêndice A	53

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o tipo de transporte mais utilizado na matriz modal é o rodoviário, representando cerca de 65% da movimentação de mercadorias e 95% da de passageiros (CNT, 2021). Isto evidencia a importância desse modo para o desenvolvimento social e econômico brasileiro, além de reforçar a necessidade da manutenção das vias com desempenho adequado. Entretanto, o que se observa com relação ao desempenho das vias é exatamente o contrário: dados do Fórum Econômico Mundial apontam que a qualidade da malha rodoviária brasileira atingiu nota 3 em 2019, numa escala de 1 (pior) a 7 (melhor), como consequência, o Brasil ficou na posição 116, de um total de 141 países analisados (SCHWAB, 2019).

De acordo com a Pesquisa CNT de Rodovias 2021, de 109.103 km de rodovias analisadas, o Estado Geral de 61,8% delas foi classificado como regular, ruim ou péssimo. Nota-se que este parâmetro considera as características do pavimento, da sinalização e da geometria da via, conjuntamente. Tratando-se do pavimento, foco deste trabalho, 52,2% da extensão pesquisada pela CNT apresentou algum problema, sendo classificado como regular, ruim ou péssimo (CNT, 2021). Tais dados apontam para a necessidade de um melhor gerenciamento das rodovias, com base em levantamentos cadastrais, pesquisas e inventários dos pavimentos.

Segundo Bernucci et al. (2008), pavimento pode ser entendido como uma estrutura formada por um conjunto de camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície de terraplenagem, cujo objetivo é resistir aos esforços provenientes do tráfego de veículos e do clima, além de proporcionar aos usuários melhores condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. Há duas formas tradicionais de se classificar os pavimentos: rígidos e flexíveis. Os pavimentos rígidos são aqueles em que o revestimento é uma placa de concreto de cimento Portland, enquanto o revestimento dos pavimentos flexíveis é formado basicamente por uma mistura de agregados e ligantes asfálticos, motivo pelo qual este tipo de pavimento é normalmente chamado de pavimento asfáltico.

Segundo a CNT (2021), cerca de 99% das rodovias brasileiras são construídas em pavimento flexível, o qual possui vida útil de 8 a 12 anos, desde que haja correta manutenção periódica. No caso do Brasil, é comum encontrar rodovias danificadas antes desse prazo, o que pode ter como causas o método de dimensionamento, falhas no processo construtivo, falta de manutenção preventiva e falta de fiscalização (tanto na etapa de construção quanto em relação ao trânsito de veículos com excesso de peso). Esses defeitos na superfície das vias, além de afetar o conforto dos usuários, aumentam os custos operacionais, relacionados a maiores gastos com peças de manutenção dos veículos; com consumo de combustível e de pneus; bem como com tempo de viagem (BERNUCCI et al., 2008).

Somado a isso, observa-se que o montante investido nas rodovias vem reduzindo ao longo do tempo, gerando uma insuficiência dos recursos até mesmo para a manutenção apropriada da malha já existente (CNT, 2021). Assim, é necessário estabelecer estratégias para orientar a priorização dos investimentos em restauração, buscando atender aos parâmetros de conforto, segurança e desempenho. Diante desse contexto, tem especial importância a avaliação funcional das características dos pavimentos, em que se procura caracterizar adequadamente as condições do pavimento, identificando as falhas e possibilitando a proposição de intervenções apropriadas.

Vale evidenciar a importância do presente trabalho como contribuição para a melhoria das condições das vias do Campus Morro do Cruzeiro/UFOP, pois ele provê um conhecimento sobre o atual estado do pavimento do Campus, o que pode auxiliar nas tomadas de decisão quanto a medidas preventivas e/ou corretivas para a sua conservação. Isso poderá proporcionar à comunidade que diariamente utiliza essas vias maior conforto e segurança.

1.1 Objetivo

O objetivo geral do presente trabalho é realizar uma avaliação funcional da superfície do pavimento da Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro, com base no método do Índice de Gravidade Global (IGG).

1.1.1 Objetivos Específicos

Tendo em vista alcançar o propósito principal, é possível estabelecer os seguintes objetivos específicos, que ordenarão o desenvolvimento deste estudo:

- Investigar os defeitos presentes no pavimento do Campus Morro do Cruzeiro – UFOP;
- Diagnosticar as patologias identificadas no pavimento;
- Quantificar e categorizar os defeitos encontrados;
- Classificar a qualidade do pavimento com base em parâmetros pré-estabelecidos;
- Fornecer um material de referência que auxilie em estudos futuros para uma análise mais profunda das causas das patologias e na proposição de intervenções adequadas para a melhoria do pavimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pavimentos

Seja por motivos econômicos, de integração regional ou estratégias militares, construir vias de transporte era uma preocupação das mais remotas civilizações, que já na Antiguidade observaram que seria essencial para a adequação e preservação destes caminhos que eles fossem pavimentados (BALBO, 2007).

De acordo com Balbo (2007) e Bernucci (2008), pavimento é uma estrutura composta por camadas de espessuras finitas e sobrepostas de diferentes materiais compactados, construído a partir do subleito estradal, cuja função é atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, garantindo durabilidade e o menor custo possível.

Do ponto de vista estrutural, o pavimento é concebido para resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, o que consiste em recebê-los e transmiti-los às camadas inferiores, de modo que as tensões sejam aliviadas até atingir a fundação (BALBO, 2007). O bom funcionamento do pavimento depende da compatibilidade entre sua natureza e capacidade portante e as deformações às quais será submetido, de modo que não ocorram deteriorações prematuras.

Do ponto de vista operacional, segundo Bernucci et al. (2008), o pavimento deve proporcionar melhoria das condições de rolamento, garantindo conforto e segurança aos usuários, velocidade adequada dos veículos e economia ao sistema de transporte.

O DNIT (2006), em seu Manual de Pavimentação, classifica os pavimentos em três tipos, em função da deformabilidade e dos materiais que os constituem: flexíveis, semirrígidos e rígidos. A decisão por algum desses tipos de pavimento dependerá da intensidade do tráfego, da resistência do solo de fundação, bem como da qualidade dos materiais disponíveis.

Os pavimentos flexíveis são aqueles em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento, o que leva a uma distribuição da carga em parcelas aproximadamente equivalente entre as camadas. O mais comum é o pavimento asfáltico, no qual o revestimento é composto por uma mistura

formada por agregados e ligantes asfálticos. Estão também incluídos nessa classe os calçamentos com alvenaria poliédrica (calçamento com pedras irregulares), com paralelepípedos de pedra, de betume, de cimento e de cerâmica (DNIT, 2006).

Os pavimentos semirrígidos são caracterizados por ter sua base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias, como por exemplo, uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica (DNIT, 2006). Segundo Pinto e Preussler (2002), a base dos pavimentos semirrígidos tem sua rigidez aumentada devido à adição desses elementos quimicamente reativos, como o cimento.

Os pavimentos rígidos são aqueles em que o revestimento possui elevada rigidez em relação às camadas subjacentes, de modo que absorvem praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. São normalmente constituídos de placas de concreto de cimento Portland, podendo ser armados ou não (DNIT, 2006). Por terem elevada rigidez, pavimentos rígidos são estruturas pouco deformáveis e tendem a romper por tração na flexão, quando sujeitos a deformações (SENÇO, 1997).

A estrutura dos pavimentos consiste em um sistema de camadas que se assentam sobre um semiespaço teoricamente infinito, chamado subleito, que funciona como fundação para as camadas sobrejacentes, conforme Manual de Pavimentação do DNIT (2006). O comportamento estrutural de um pavimento depende da espessura de cada uma de suas camadas, da interação entre elas e da rigidez destas e do subleito (BERNUCCI et al., 2008).

O pavimento deve ser apropriado para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego e, para que funcione adequadamente, as camadas que o compõem devem trabalhar deformações compatíveis com a natureza e a capacidade portante para a qual foi projetado. Desse modo é possível prevenir processos de ruptura ou danificação de forma precoce e inadvertida nos materiais que constituem as camadas do pavimento (BALBO, 2007).

Para Balbo (2007), cada camada do pavimento possui pelo menos uma função específica, e elas devem proporcionar aos veículos as condições adequadas de suporte e rolamento em qualquer condição climática. Buscando adotar uma

terminologia coerente e mais completa possível para caracterizar as camadas, é apresentada na Figura 1 uma estrutura genérica de um pavimento, formada por: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito.

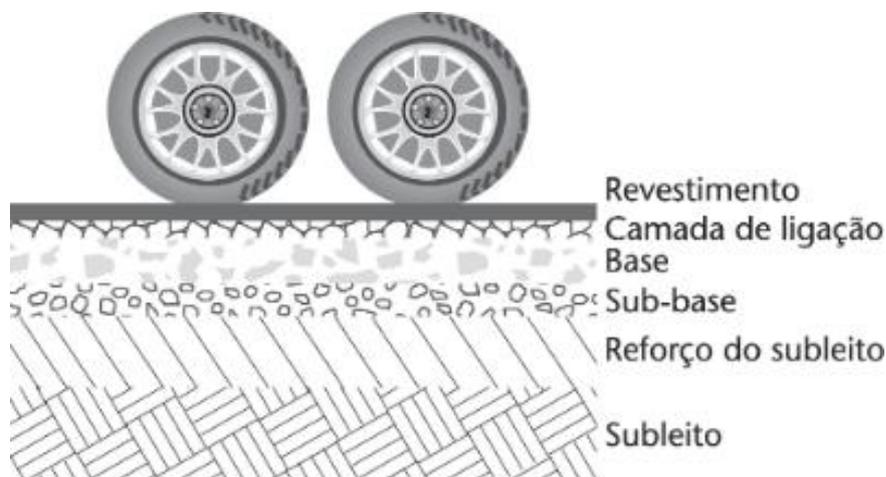


Figura 1 - Estrutura genérica de um pavimento. Fonte: Balbo (2007).

O subleito é o terreno de fundação do pavimento (DNIT, 2006), e é constituído de material natural consolidado e compactado (em regiões de corte) ou por material transportado e compactado (em regiões de aterro), segundo Balbo (2007). Os esforços impostos sobre a superfície do subleito serão aliviados em sua profundidade, de modo que seus estratos superiores devem receber maior atenção, já que neles os esforços solicitantes atuam com maior magnitude (BALBO, 2007).

O reforço de subleito é uma camada de espessura constante, composta por material estabilizado granulometricamente, cujas características geotécnicas são inferiores ao material usado na camada sobrejacente, mas superiores ao material do subleito (DNIT, 2006). É utilizado quando se faz necessário reduzir espessuras elevadas da camada de sub-base, originadas pela baixa capacidade de suporte do subleito ou quando há tráfego de cargas muito pesadas (CNT, 2014).

Balbo (2007) afirma que o emprego dessa camada não é obrigatório, porém é justificado por razões técnicas e econômicas. Do ponto de vista técnico, o reforço de subleito é mais resistente que o solo de fundação, promovendo alívio das pressões recebidas pelo subleito. Quanto ao fator econômico, ocorre otimização em função de que a utilização de reforço permite camadas menos espessas de base e sub-base,

geralmente constituídas de materiais granulares ou cimentados, que são mais dispendiosos que solos de reforço.

A sub-base é uma camada complementar à base, com função similar a esta, isto é, resistir e distribuir as cargas verticais provenientes do tráfego. Quando a camada de base necessária para cumprir tal função é muito espessa, torna-se conveniente, do ponto de vista construtivo e econômico, a redução da espessura da base e a adoção de uma sub-base, que geralmente é menos onerosa (BALBO, 2007). A sub-base também pode desempenhar papel importante na drenagem subsuperficial, controlando a ascensão capilar de água e drenando infiltrações. Podem ser empregados solo estabilizado naturalmente, solo misturado com agregado, brita graduada, brita graduada tratada com cimento, solo estabilizado quimicamente (BALBO, 2007).

A base é a camada sobre a qual o revestimento é construído e é destinada a resistir os esforços resultantes do tráfego e distribuí-las para as camadas inferiores (DNIT, 2006). Segundo Silva (2008), a base tem ainda a função de permitir a drenagem das águas que se infiltram no pavimento. É composta por materiais granulares, com ou sem aglutinantes, os quais devem ser de excelente qualidade, além de sua execução ser muito bem realizada, já que a tensão máxima de cisalhamento ocorre na base (SILVA, 2008).

O revestimento é a camada que recebe diretamente a ação do tráfego, sendo destinada a melhorar as condições de rolamento, quanto ao conforto e à segurança do usuário, além de resistir ao desgaste, o que garante maior durabilidade à estrutura. Tanto quanto possível, o revestimento deve ser impermeável, de modo a proteger as camadas inferiores (SENÇO, 2007).

Silva (2008) acrescenta que essa camada tem por finalidade aumentar a resistência à derrapagem e aos esforços provocados pelo intemperismo. Senço (2001) alerta para a necessidade de sua execução ser procedida de detalhados ensaios de dosagem e acompanhada por rigorosos ensaios de controle, por ser a camada mais nobre do pavimento. Por fim, Balbo (2007) afirma que o revestimento deve ser composto por materiais bem aglutinados ou dispostos de maneira a evitar

sua movimentação horizontal, já que não poderá sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de componentes ou, ainda, perda de compactação.

2.2 Dimensionamento de Pavimentos

Conforme afirma Fritzen (2016), o dimensionamento de um pavimento consiste na determinação das espessuras das camadas que compõem sua estrutura, com base na seleção criteriosa dos materiais adequados para cada camada e nos critérios de ruptura definidos nos modelos de análise.

Foi adotado em nosso país o eixo padrão para dimensionamento de pavimentos rígidos e flexíveis definido pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Este seria um eixo simples com rodado duplo, cuja carga é de 8,2 tf, com pressão de inflação dos pneus de 5,6 kg/cm² (FONTENELE *et al.*, 2011).

Conforme aponta Fontenele *et al.* (2011), a previsão de tráfego em uma via é realizada através da contagem volumétrica dos veículos, seguida da aplicação de fatores de equivalência para converter suas cargas na carga do eixo padrão. Assim foi denominada de Número Equivalente “N” a estimativa de quantidade de passagens do eixo padrão pelo pavimento.

Há diversas metodologias para dimensionamento de pavimentos, como os métodos do DNER, da AASHTO, além do Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa), recém desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR). Apesar da variedade de métodos, todos têm em comum a utilização do número N como insumo para definir a espessura das camadas.

O cálculo de N leva em consideração o volume de tráfego diário médio (VDM) na rodovia; a taxa de crescimento do tráfego ao longo do tempo; a vida útil do pavimento; a distribuição dos tipos de veículos e seus respectivos pesos; e a conversão dos eixos reais no eixo padrão de 8,2 tf.

A Prefeitura Municipal de São Paulo, em sua instrução de projeto IP-02/2004 classifica o fluxo de veículos para fins de dimensionamento de pavimento, com base em valores típicos do número “N”, conforme Tabela 1 (PMSP, 2004).

Tabela 1 – Classificação do tráfego baseado no número “N”. Fonte: Adaptado de PMSP (2004).

Classificação do Tráfego	Número “N” Típico
Leve	$1,0 \times 10^5$
Médio	$5,0 \times 10^5$
Meio Pesado	$2,0 \times 10^6$
Pesado	$2,0 \times 10^7$
Muito pesado	$5,0 \times 10^7$

2.3 Defeitos de Superfície em Pavimentos Flexíveis

Ao longo da vida útil de um pavimento flexível, este é submetido a ações do tráfego e das condições climáticas, originando nele solicitações que, após sucessiva repetição, provocam degradações no pavimento, denominadas defeitos (FRANCISCO, 2012). Conforme afirma Fialho (2015), tais defeitos afetam as capacidades funcionais e estruturais do pavimento, causando desconforto aos usuários.

Segundo Bernucci et al. (2008), os defeitos de superfície que ocorrem precocemente em pavimentos flexíveis, reduzindo a vida do projeto, são resultantes de erros ou inadequações. Já os defeitos que ocorrem a médio ou a longo prazo resultam da utilização pelo tráfego e efeitos das intempéries. Dentre os erros ou inadequações citadas, destacam-se:

- Erros de projeto, normalmente relacionados à dificuldade de prever o tráfego real que atuará no período de projeto, além de falhas no dimensionamento estrutural;

- Erros ou inadequações na seleção, na dosagem ou na produção de materiais;
- Erros ou problemas construtivos, destacando-se execução divergente com o projeto;
- Inadequações na seleção de alternativas de conservação e manutenção.

A decisão por alguma alternativa de restauração ou aplicação de algum critério numérico ou normativo para cálculo de reforços deve ser precedida de um bom diagnóstico geral dos defeitos do pavimento, de modo a se estabelecer a melhor solução.

Os tipos de defeitos que ocorrem em revestimentos de pavimentos flexíveis e semirrígidos já foram sumarizados em vários manuais e publicações, mas, a título de padronização da linguagem adotada na elaboração de normas, manuais, projetos e textos relativos a esses tipos de pavimento, em 2003 o DNIT publicou a norma DNIT 005/2003 - TER, que define os termos técnicos empregados nestes defeitos (DNIT, 2003). Os tipos de defeitos catalogados pela norma brasileira, bem como sua codificação, são: fenda (F); afundamento (A); ondulação ou corrugação (O); escorregamento (E); exsudação (EX); desgaste (D); panela ou buraco (P); e remendo (R), conforme descrito a seguir.

2.3.1 Fenda

Definida como qualquer descontinuidade na superfície asfáltica, que conduza a aberturas de maior ou menor porte, podendo apresentar-se sob a forma de fissuras ou trincas, conforme definido nos parágrafos seguintes.

▪ Fissura

Fissura (FI) é uma fenda de largura capilar posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, visível a olho nu apenas a uma distância inferior a

1,50 m. A Figura 2 exemplifica a ocorrência de fissuras no pavimento do campus Morro do Cruzeiro.

Por serem fendas em estágio inicial, as fissuras não causam problemas funcionais nem estruturais ao revestimento. Suas causas estão atreladas principalmente à má dosagem do ligante asfáltico, excesso de finos no material do revestimento e compactação em momento inadequado ou excessiva (CNT, 2017).



Figura 2 - Fissuras no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.

- **Trinca**

Quando uma fenda possui abertura superior à da fissura, sendo facilmente visível a olho nu, esta é definida como trinca (DNIT, 2003). As trincas representam um dos defeitos mais críticos dos pavimentos asfálticos, uma vez que iniciado, o trincamento permite entrada de água no interior do pavimento, acelerando o processo de deterioração, até o ponto da desintegração das bordas das trincas, podendo provocar, posteriormente, o arrancamento das placas e formação de panelas (DNIT, 2006).

As trincas apresentam-se sob duas formas: isoladas e interligadas. Quanto à gravidade, o Anexo A da norma DNIT 005/2003 – TER adota a definição apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação das trincas quanto à gravidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

TIPO DE TRINCA	CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO	SIGLA
Trincas Isoladas	Fenda Classe 1	Trincas com abertura superior à das fissuras e inferior a 1,0 mm	FC-1
	Fenda Classe 2	Trincas com abertura superior a 1,0 mm e sem erosão nas bordas	FC-2
	Fenda Classe 3	Trincas com abertura superior a 1,0 mm e com erosão nas bordas	FC-3
Trincas Interligadas	Fenda Classe 2	Trincas interligadas sem erosão nas bordas	FC-2
	Fenda Classe 3	Trincas interligadas com erosão nas bordas	FC-3

Quanto à tipologia, as trincas isoladas são classificadas em trinca transversal (TTC e TTL); longitudinal (TLC e TLL); e de retração (TRR). Já as trincas interligadas são classificadas em trinca tipo “Couro de Jacaré” (J e JE); e tipo “Bloco” (TB e TBE). As principais características dessas trincas são apresentadas nos parágrafos a seguir.

- Trinca transversal: trinca isolada em direção perpendicular ao eixo da via. É denominada trinca transversal curta (TTC) quando sua extensão for de até 100 cm e trinca transversal longa (TTL) quando sua extensão for superior a 100 cm. Sua ocorrência foi registrada no campus Morro do Cruzeiro, conforme a Figura 3.

Segundo a CNT (2017), as principais causas deste tipo de patologia são a contração do revestimento asfáltico devido a baixas temperaturas ou ao endurecimento do asfalto e a propagação de trincas nas camadas inferiores ao revestimento.



Figura 3 - Trincas transversais no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.

- Trinca longitudinal: trinca isolada em direção predominantemente paralela ao eixo da via. É denominada trinca longitudinal curta (TLC) se tiver até 100 cm de extensão e, se superior a este comprimento, é denominada trinca longitudinal longa (TLL). Na Figura 4 pode-se visualizar exemplos desse defeito no campus Morro do Cruzeiro.

De acordo com a CNT (2017) e SILVA (2008), entre as principais causas deste tipo de trinca estão: má execução da junta de construção, recalque diferencial, contração do revestimento asfáltico devido a baixas temperaturas ou ao endurecimento do asfalto, propagação de trincas nas camadas inferiores ao revestimento, ou ainda estágio inicial de fadiga.



Figura 4 - Trincas longitudinais no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.

- Trinca de retração (TRR): trinca isolada cuja causa não está atrelada a fenômenos de fadiga e sim à retração térmica, seja do material do revestimento ou do material da base subjacente ao revestimento trincado. A Figura 5 ilustra esse tipo de trinca.



Figura 5 - Trinca de retração. Fonte: Bernucci et al. (2008).

Quanto às trincas interligadas, estas são classificadas com base na seguinte tipologia:

- Trinca tipo “Couro de Jacaré” (J): conjunto de trincas interligadas sem um padrão geométrico definido, com aspecto semelhante ao couro de jacaré, conforme ilustra a Figura 6. Podem apresentar erosão acentuada em suas bordas, sendo chamadas de Trinca Jacaré com Erosão (JE).

Segundo Silva (2008), as trincas “couro de jacaré” concentram-se nas trilhas de roda e sua origem está associada à repetição das cargas de tráfego. A CNT (2017) acrescenta às causas desta patologia: subdimensionamento ou má qualidade da estrutura ou de uma das camadas do pavimento, baixa capacidade de suporte do solo, fim da vida útil do pavimento e asfalto duro ou quebradiço.



Figura 6 - Trincas do tipo “couro de jacaré” no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.

- Trinca tipo “Bloco” (TB): conjunto de trincas interligadas cuja geometria apresenta lados bem definidos, configurando blocos aproximadamente retangulares, conforme ilustrado na Figura 7. Quando não tratadas, podem apresentar erosão acentuada em suas bordas, sendo chamadas de Trinca em Bloco com Erosão (TBE).

O surgimento das trincas em bloco não está relacionado com o tráfego, e sim por retração do revestimento asfáltico devido às variações diárias de temperatura, que promovem ciclos diários de tensões e deformações (SILVA, 2008). Outra possível causa deste defeito, de acordo com a CNT (2017), é a baixa resistência à tração da mistura asfáltica.

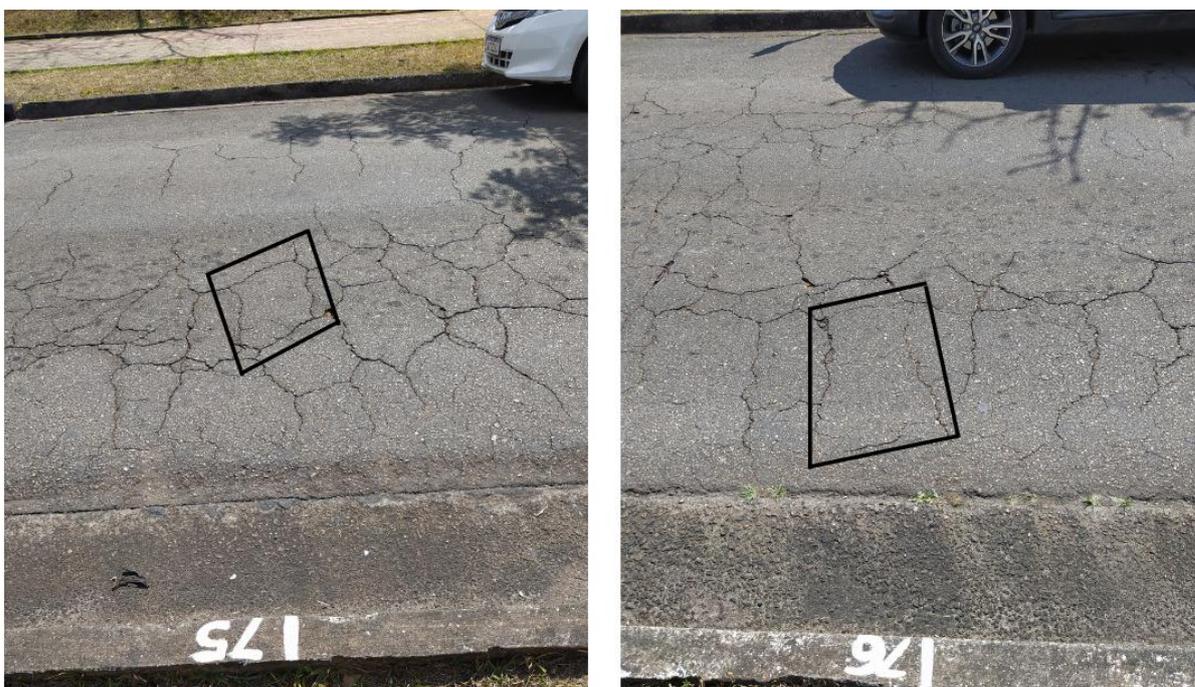


Figura 7 - Trincas do tipo "bloco" no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.

2.3.2 Afundamento

Os afundamentos são deformações permanentes caracterizadas por depressão da superfície do pavimento. De modo geral, essa patologia é originada devido à ação repetida da passagem das cargas de roda dos pneus e o fluxo canalizado dos veículos comerciais. Apresentam-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação (SILVA, 2008).

De acordo com a norma DNIT 005/2003 – TER (DNIT, 2003), os afundamentos plásticos são acompanhados de solevamento (elevações ao longo dos lados do

afundamento) e têm como causas a fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, o excesso de ligante asfáltico na mistura asfáltica ou a seleção de tipo de revestimento incompatível com a carga solicitante. Quando sua extensão for de até 6 m, é denominado afundamento plástico local (ALP), e quando sua extensão for superior a esse comprimento, é denominado afundamento plástico da trilha (ATP), o que pode ser observado na Figura 8.



Figura 8 - Afundamento plástico de trilha de roda. Fonte: Bernucci et al. (2008).

Os afundamentos de consolidação têm origem na consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de levantamento (DNIT, 2003). É chamado de afundamento de consolidação local (ALC) quando sua extensão for de até 6 m e afundamento de consolidação da trilha de roda (ATC) caso tenha extensão superior a 6 m (DNIT, 2003). A CNT (2017) acrescenta às causas desse defeito, sendo elas a densificação ou ruptura por cisalhamento de camadas abaixo do revestimento; a falha de compactação na construção; e os problemas de drenagem. A Figura 9 exemplifica a ocorrência de ATC no campus Morro do Cruzeiro.



Figura 9 - Afundamento de consolidação da trilha de roda somado a trincas “couro de jacaré” no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.

2.3.3 Ondulação ou Corrugação

A ondulação ou corrugação (O) é definida como uma deformação caracterizada por ondulações transversais na superfície do pavimento. De acordo com a CNT (2017), suas principais causas são a falta de estabilidade da mistura asfáltica; a umidade excessiva do subleito; a contaminação da mistura asfáltica; e a falta de aeração das misturas líquidas de asfalto.

Esse defeito está associado às tensões cisalhantes horizontais causadas pela aceleração ou frenagem dos veículos, sendo, portanto, comum em subidas, rampas, curvas e interseções (SILVA, 2008). A Figura 10 ilustra tal defeito.



Figura 10 - Ondulação ou corrugação. Fonte: CNT (2017).

2.3.4 Escorregamento

O escorregamento (E) é entendido como o deslocamento do revestimento em relação à camada de base do pavimento, formando fendas em forma de meia-lua (DNIT, 2003). Segundo Silva (2008), sua causa está relacionada à falta de aderência entre o revestimento e a camada subjacente ou à baixa estabilidade da mistura asfáltica, que é expulsa para fora do trilho de roda quando sujeita ao tráfego. A Figura 11 exemplifica tal defeito.



Figura 11 - Escorregamento do revestimento asfáltico. Fonte: CNT (2017).

2.3.5 Exsudação

Exsudação (EX) é a formação de um filme de material betuminoso na superfície do pavimento criando um brilho vítreo, causado pela migração do ligante a partir do revestimento. Suas prováveis causas são o excesso de ligante betuminoso e o baixo índice de vazios da mistura asfáltica (CNT, 2017). Na Figura 12 é possível observar a ocorrência desse defeito.



Figura 12 - Exsudação na superfície de pavimento. Fonte: CNT (2017).

2.3.6 Desgaste

O desgaste (D) é o efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado pela aspereza superficial do revestimento, devido aos esforços tangenciais oriundos do tráfego (DNIT, 2003), este pode ser observado na Figura 13.

A CNT (2017) afirma que sua origem está relacionada às falhas de adesividade ligante-agregado; à presença de água aprisionada e sobreposição em vazios da camada de revestimento, gerando deslocamento de ligante; à deficiência no teor de ligante; aos problemas executivos ou de projetos de misturas.



Figura 13 - Desgaste no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.

2.3.7 Panela ou buraco

A panela ou buraco (P) é definida como uma cavidade que se forma no revestimento, podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas (DNIT, 2003). A Figura 14 ilustra ocorrências desse defeito no campus Morro do Cruzeiro.

Segundo a CNT (2017), as principais causas dessa patologia são as trincas de fadiga; a desintegração localizada na superfície do pavimento (desgaste em estágio avançado); a deficiência na compactação; a umidade excessiva em camadas de solo; e a falha na imprimação (aplicação de camada de material asfáltico sobre a superfície da base concluída, prévia à execução do revestimento asfáltico).

Este é um defeito muito grave pois, ao permitir o acesso das águas superficiais ao interior da estrutura, pode afetar estruturalmente o pavimento. Também é grave do ponto de vista funcional, já que as panelas aumentam a irregularidade longitudinal do

pavimento, afetando a segurança do tráfego, o conforto do usuário e o custo do transporte (PINTO e PREUSSLER, 2010).



Figura 14 - Painéis no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.

2.3.8 Remendo

Segundo Bernucci et al. (2008), o remendo (R) é caracterizado pelo preenchimento de painéis ou qualquer outro tipo de depressão com massa asfáltica (operação “tapa-buraco”). Apesar de estar relacionado à conservação da superfície, é considerado um defeito por apontar um local de fragilidade do revestimento e por provocar desconforto ao rolamento (BERNUCCI et al., 2008). Podem também ser resultado da recomposição do pavimento de um trecho que foi escavado para manutenção de tubulações da rede pública, por exemplo.

Segundo o DNIT (2003), quando é uma correção em área localizada, com aplicação de uma camada de mistura betuminosa, é chamado de remendo superficial (RS). Já nos casos em que é necessária substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento, este é considerado um remendo profundo (RP). A ocorrência desse defeito pode ser observada no campus Morro do Cruzeiro, conforme ilustra a Figura 15.



Figura 15 - Remendos no pavimento do campus Morro do Cruzeiro. Fonte: Acervo próprio.

A Tabela 3, a seguir, resume os defeitos de pavimentos flexíveis e semirrígidos, conforme terminologia adotada pelo DNIT (2003), e sua respectiva codificação.

Tabela 3 - Quadro resumo dos defeitos e codificação. Fonte: Adaptado de DNIT (2003).

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

OUTROS DEFEITOS				CODIFICAÇÃO
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP
		Da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC
		Da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC
Ondulação/Corrugação – Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base.				O
Escorregamento (do revestimento betuminoso)				E
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento				EX
Desgaste acentuado na superfície do revestimento				D
“Painéis” ou buracos decorrentes da degradação do revestimento e, às vezes, de camadas inferiores				P
Remendo		Superficial		RS
		Profundo		RP

2.4 Avaliação do Pavimento

Conforme a CNT (2017), uma vez realizados adequadamente o dimensionamento e a execução do pavimento, deve-se iniciar o processo de gestão das vias, de modo que se cumpra o objetivo principal da pavimentação: garantir a trafegabilidade em qualquer época do ano e sob quaisquer condições climáticas, com conforto e segurança aos usuários. Dessa forma, é imprescindível que ocorram avaliações periódicas do pavimento, de modo a orientar sobre as intervenções necessárias ao processo de manutenção das vias. Tais avaliações podem ser estruturais ou funcionais.

As avaliações estruturais visam investigar a capacidade de carga do pavimento, ou seja, a capacidade de ele manter sua integridade estrutural mediante as cargas às quais é submetido. Estas são realizadas por meio de ensaios, que podem ser destrutivos ou não. Os métodos destrutivos consistem na abertura de trincheiras ou poços de sondagem até a camada do subleito para coleta de amostras de materiais para ensaios em laboratório, a fim de se realizar uma caracterização física completa do pavimento. Já os métodos não destrutivos fazem uma avaliação por meio da

medição do deslocamento vertical do pavimento em relação à superfície, denominado deflexão (CNT, 2017).

As avaliações funcionais, por sua vez, consistem na qualificação do pavimento sob o ponto de vista operacional, principalmente em termos de qualidade de rolamento. Podem ser subjetivas, expressando o estado de degradação por meio de conceitos qualitativos, ou objetivas, que utilizam quantificação numérica e distribuição de severidade dos defeitos apresentados (CNT, 2017).

2.4.1 Método do Índice de Gravidade Global (IGG)

O Índice de Gravidade Global (IGG) é um método objetivo de avaliação funcional de pavimentos flexíveis e semirrígidos padronizado segundo a norma brasileira DNIT 006/2003 - PRO (DNIT, 2003), que visa estabelecer um indicador numérico que caracterize o estado geral do pavimento, por meio de inventário e classificação das patologias (BERNUCCI et al., 2008).

O IGG não é determinado para toda a área da pista, mas de forma amostral por meio de estações com área e distanciamento prefixados pela norma do DNIT (2003). A área de cada estação corresponde a 6 m de extensão e largura igual à faixa de trânsito a ser avaliada. Nas rodovias de pista simples, a distância entre as estações é de 20 m, alternados entre as faixas de cada sentido, conforme Figura 16. Já nas rodovias de pista dupla, as estações são localizadas a cada 20 m, na faixa de tráfego mais solicitada de cada pista.

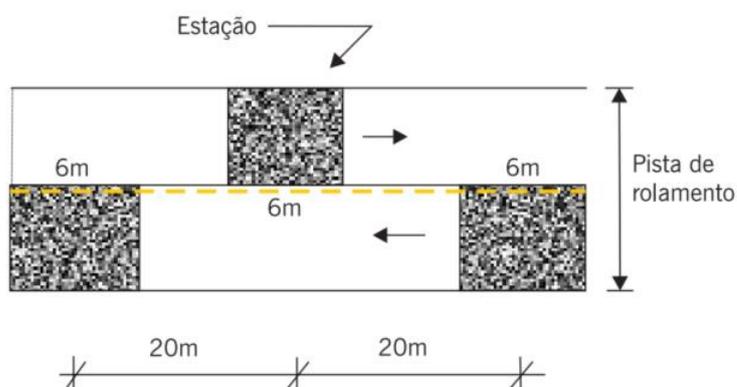


Figura 16 - Demarcação de estações. Fonte: Bernucci et al. (2008).

Os defeitos encontrados em cada estação são registrados em uma planilha, conforme terminologia e codificação prefixados pela norma DNIT 005/2003 – TER (DNIT, 2003). Nesse método não se considera a área atingida pelo defeito, mas sim sua ocorrência ou não. Também devem ser registrados na planilha as medidas dos afundamentos nas trilhas de roda externa e interna de cada estação, mensurados com uma treliça de alumínio padronizada pelo DNIT (2003), conforme Figura 17.

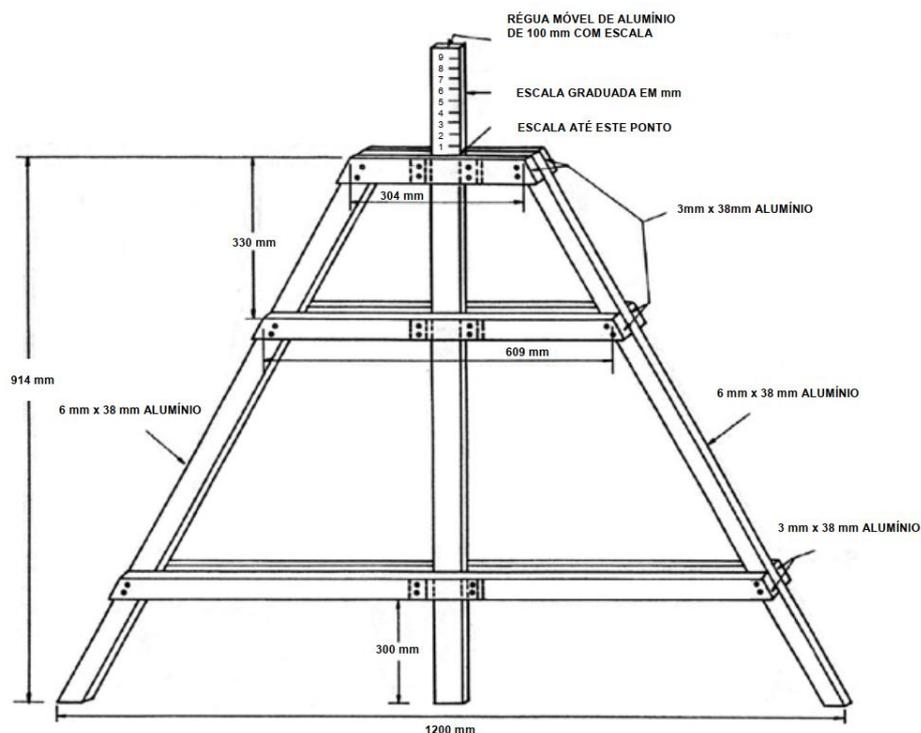


Figura 17 - Treliça metálica para medição de afundamentos em trilhas de roda. Fonte: Bernucci et al. (2008).

A especificação do DNIT (2003) subdivide os defeitos em oito categorias: 1. fissuras e trincas isoladas; 2. trincas de bloco ou tipo “couro de jacaré” sem erosão; 3. trincas de bloco ou tipo “couro de jacaré” com erosão; 4. afundamentos localizados ou nas trilhas; 5. corrugação ou ondulação, escorregamento e painelas; 6. exsudação; 7. desgaste; 8. remendos.

De acordo com o método (DNIT, 2003), devem ser contabilizadas as frequências absolutas (f_a) de cada um dos oito tipos de defeito (somatório da quantidade de

estações em que a ocorrência foi verificada) e calculada a frequência relativa (f_r) em relação ao total de estações (n), com base na Equação (1):

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

A norma (DNIT, 2003) estabelece os fatores de ponderação (f_p) pré-fixados para os defeitos, que são atribuídos de modo a conferir a gravidade de um tipo de defeito sobre os demais. Esses valores são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Fator de ponderação para cálculo do IGG. Fonte: Adaptado de DNIT (2003).

Tipo	Defeito	f_p
1	Fissuras e trincas isoladas	0,2
2	Trincas de bloco ou tipo “couro de jacaré” sem erosão	0,5
3	Trincas de bloco ou tipo “couro de jacaré” com erosão	0,8
4	Afundamentos localizados ou nas trilhas	0,9
5	Ondulação ou corrugação, escorregamento e painéis	1,0
6	Exsudação	0,5
7	Desgaste	0,3
8	Remendo	0,6

Nota: Para efeito de ponderação, quando em uma mesma estação forem constatadas ocorrências tipos 1, 2 e 3, deve-se considerar apenas as do tipo 3 para cálculo da f_r e do IGI. Da mesma forma, quando ocorrerem defeitos dos tipos 1 e 2, deve-se considerar apenas os do tipo 2.

De acordo com DNIT (2003), o IGG é um somatório dos Índices de Gravidade Individuais (IGI) de cada tipo de defeito, calculado a partir da Equação (2):

$$IGI = f_r \times f_p \quad (2)$$

Para o cálculo do IGI dos afundamentos nas trilhas de roda, devem ser obtidas a média e a variância das flechas, conforme apresentado nas Equações (3) e (4):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (3)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (4)$$

Em que:

x_i - Valores individuais das trilhas de roda (mm);

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

s - Desvio padrão dos valores das flechas medidas (mm);

s^2 - Variância (mm²);

n - Número total de estações.

Quando a média das médias aritméticas das flechas (\bar{F}) for igual ou inferior a 30, o f_p equivale a 4/3, caso contrário o IGI é igual a 40. Quando a média das variâncias das flechas (\overline{FV}) for igual ou inferior a 50, o f_p é igual a 1, caso contrário o IGI é igual a 50.

Com os IGI calculados para cada um dos oito tipos de defeitos e para os afundamentos nas trilhas de roda, calcula-se o IGG para o trecho em análise, a partir da Equação (5):

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

Com o IGG calculado é possível conferir ao pavimento um conceito que retrate o grau de degradação atingido, utilizando a correlação apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Conceitos de degradação do pavimento. Fonte: DNIT (2003).

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

2.5 Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP)

Tendo como objetivo otimizar os recursos para a implementação de programas de manutenção de vias, proporcionando conforto e segurança ao usuário, foi desenvolvido no ano de 1970, nos Estados Unidos, o Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) (ALBUQUERQUE, 2007).

De acordo com Ralph Haas *et al.* (1994), conforme citado por Fernando Albuquerque (2007), o SGP consiste em um conjunto estruturado e interconectado de atividades que englobam o planejamento, a construção, a manutenção, a avaliação e a pesquisa, integrados a um banco de dados para suporte à tomada de decisão.

Neste contexto, pode-se dizer que as decisões relacionadas à restauração e manutenção dos pavimentos são pautadas em uma avaliação multicritérios, no qual uma das etapas é a avaliação da condição geral do pavimento, por meio de conceitos qualitativos associados a índices quantitativos. Para tal, o IGG tem fundamental importância.

Outros fatores que auxiliam na tomada de decisão são os custos associados ao projeto de restauração, bem como a definição de prioridades. É indicado que a priorização das intervenções considerem, além dos aspectos técnicos e econômicos, o volume de tráfego da via (AASHTO, 2012).

2.5.1 Árvore de decisão

Uma das ferramentas empregadas no SGP para subsidiar a tomada de decisões quanto às estratégias de intervenção são as árvores de decisão. Essa abordagem consiste em um fluxograma que estabelece critérios técnicos para a definição das ações de manutenção e reabilitação (M&R) mais adequadas, conforme as condições observadas no pavimento.

Da Figura 18 à Figura 27 são apresentados modelos de árvores de decisão elaboradas por Pantigoso (1998), os quais contemplam variáveis como os tipos de defeitos – considerando seus níveis de severidade e extensão – e o volume de tráfego, quando este exerce influência na ocorrência das manifestações patológicas.

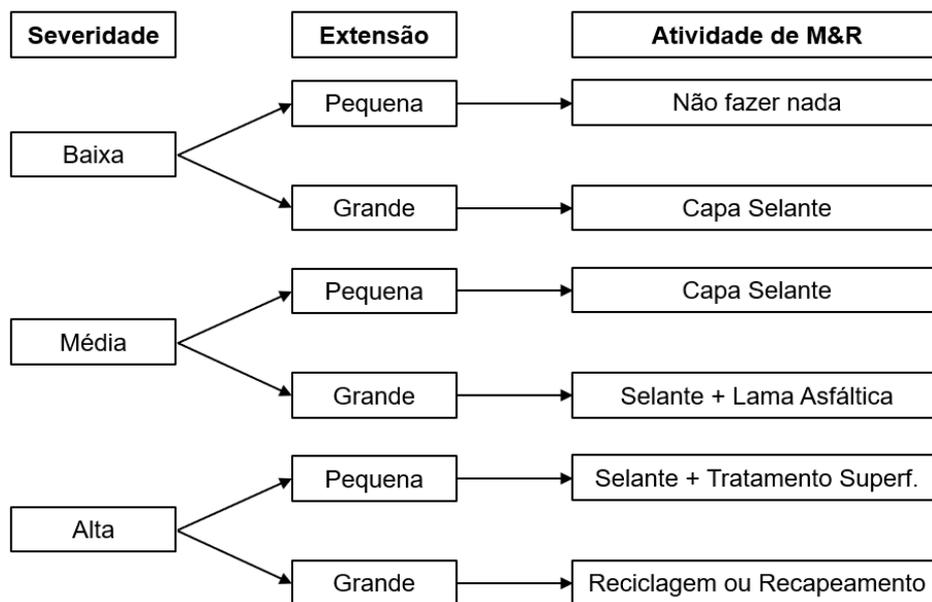


Figura 18 - Árvore de decisão para trincas em blocos. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).

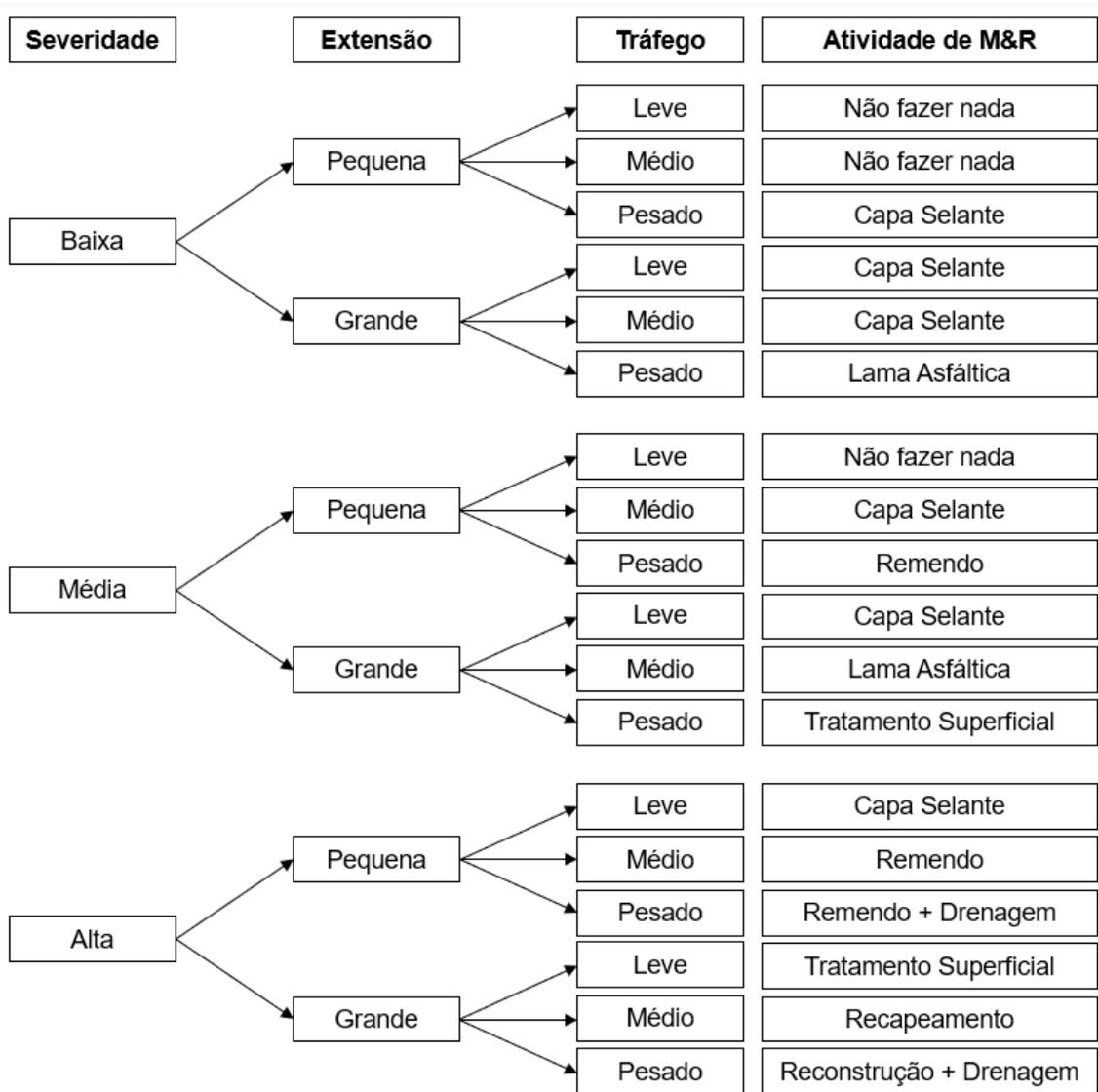


Figura 19 - Árvore de decisão para trincas por fadiga do revestimento. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).



Figura 20 - Árvore de decisão para trincas transversais. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).



Figura 21 - Árvore de decisão para trincas longitudinais. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).

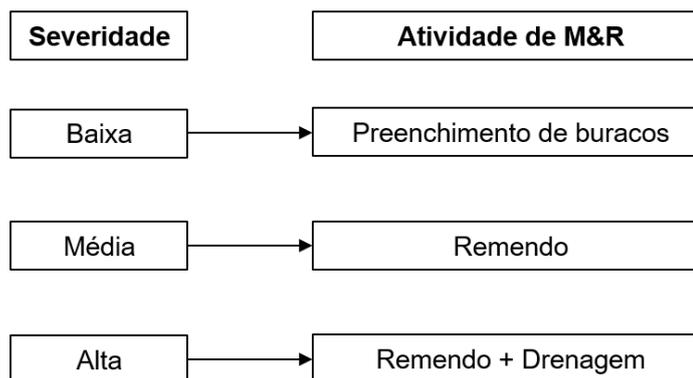


Figura 22 - Árvore de decisão para panelas. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).



Figura 23 - Árvore de decisão para remendos. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).

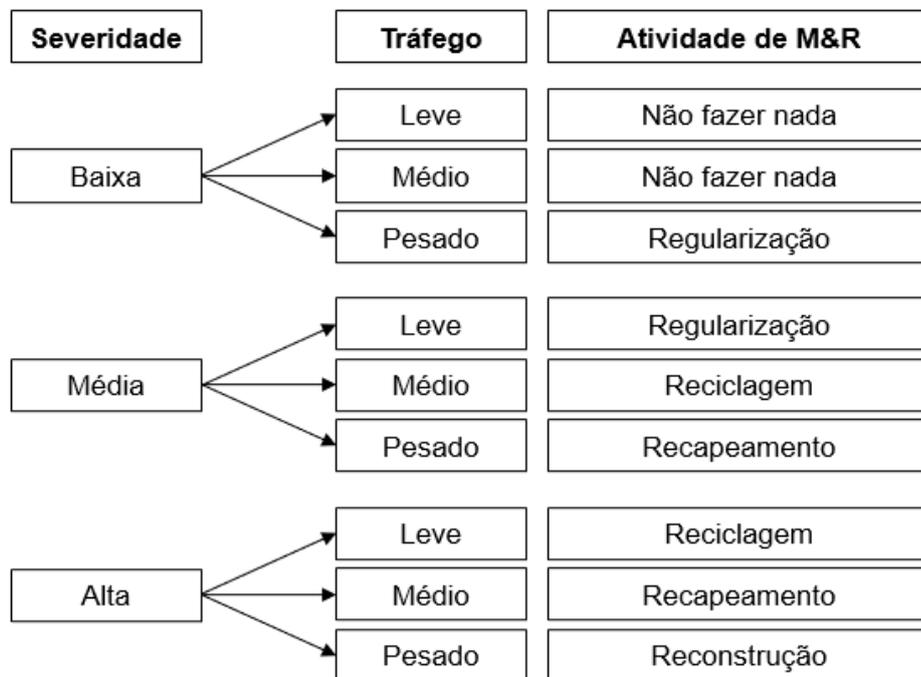


Figura 24 - Árvore de decisão para deformação permanente nas trilhas de roda. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).



Figura 25 - Árvore de decisão para corrugação. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).



Figura 26 - Árvore de decisão para exsudação. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).

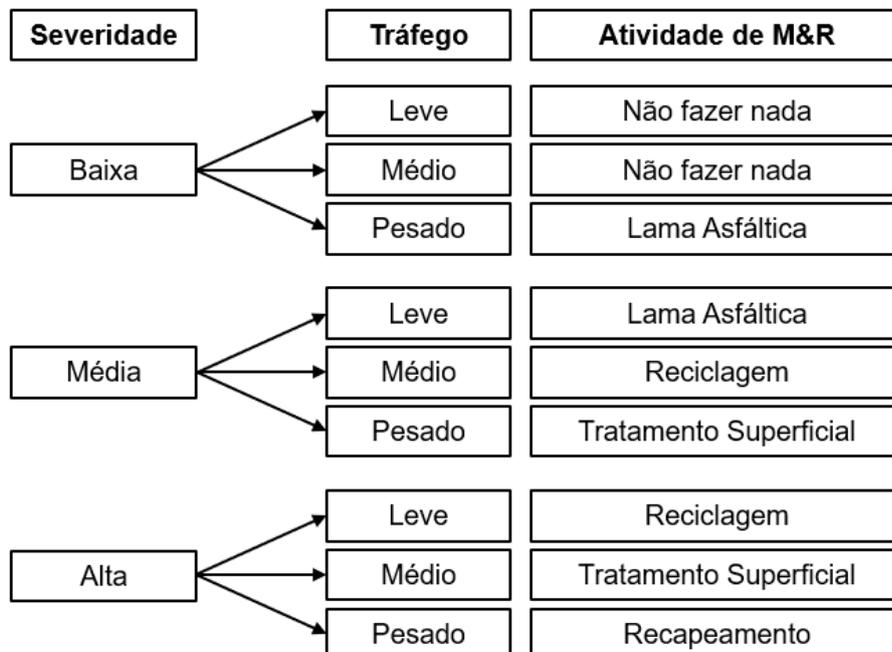


Figura 27 - Árvore de decisão para desgaste. Fonte: Adaptado de Pantigoso (1998).

3 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho, em alinhamento com o proposto nos objetivos, está baseada na aplicação do procedimento DNIT 006/2003 - PRO “Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento” (DNIT, 2003) no Campus Morro do Cruzeiro. As etapas realizadas estão descritas no fluxograma da Figura 28.

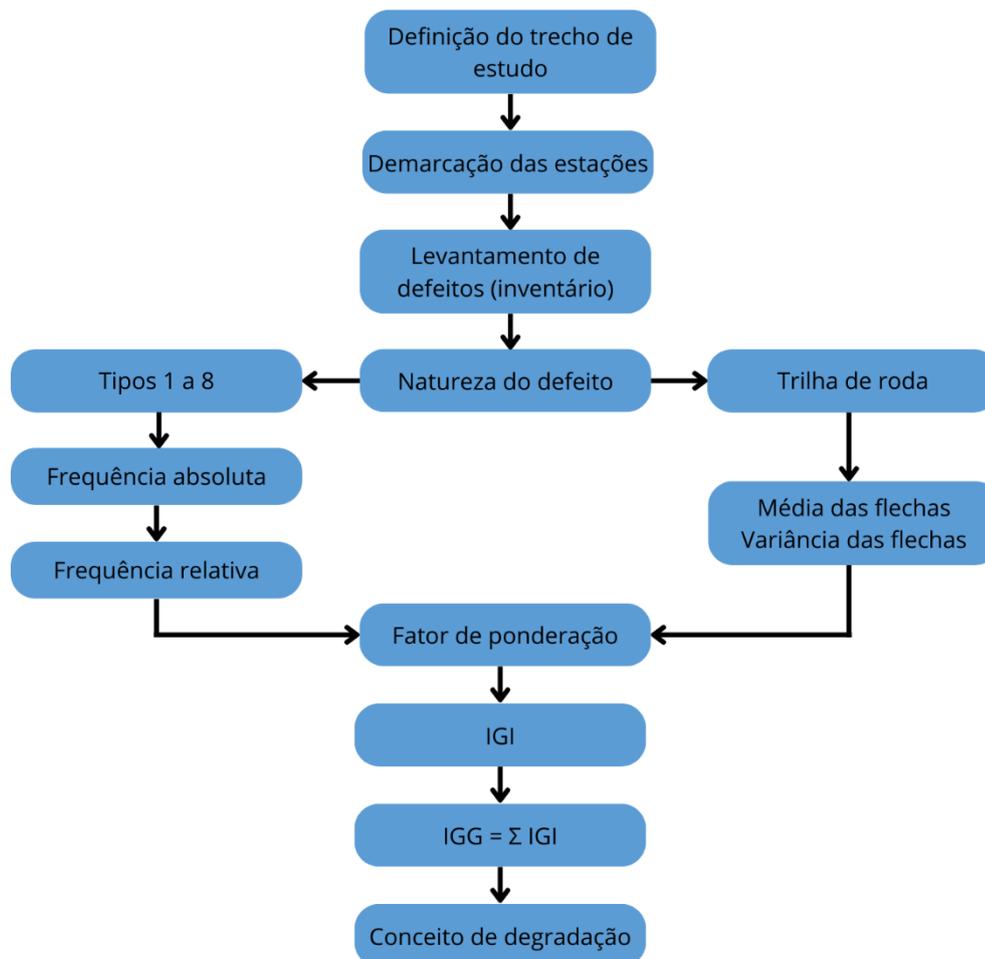


Figura 28 - Fluxograma da metodologia aplicada. Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira etapa trata-se da definição da via a ser estudada. Escolheu-se a via que circunda o campus Morro do Cruzeiro, realçada na Figura 29, por ser a via que recebe o maior fluxo de veículos se comparada às demais vias do campus, gerando repetição de cargas ao pavimento e, conseqüentemente, favorecendo o aparecimento de manifestações patológicas.

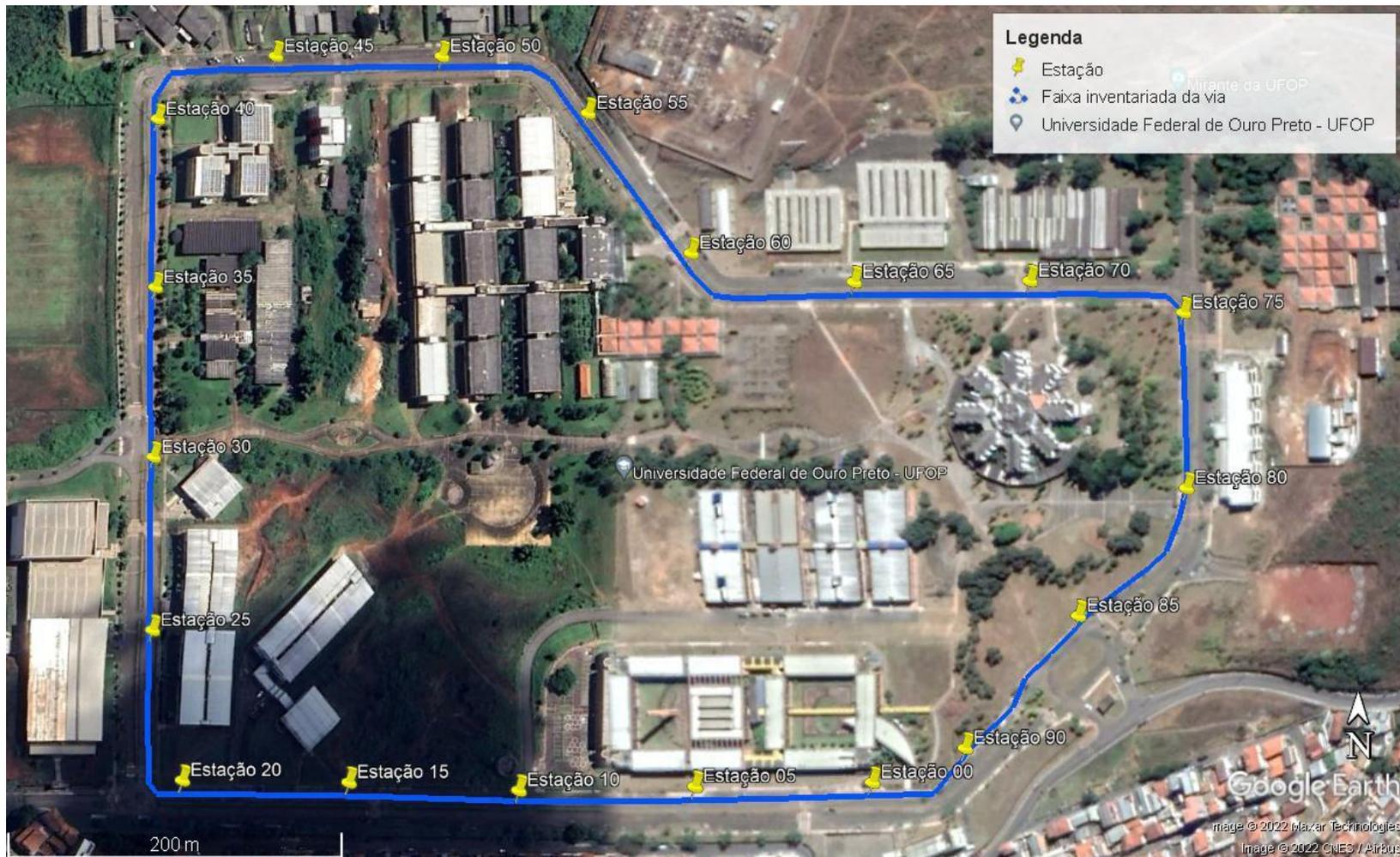


Figura 29 - Faixa inventariada da via que circunda a UFOP. Fonte: Adaptado do Google Earth.

A norma (DNIT, 2003) estabelece que em pista simples deve-se inventariar superfícies de avaliação a cada 20 m, alternando as faixas de rolamento. Entretanto, neste trabalho adotou-se uma adaptação à norma: apenas a faixa interna da via estudada foi inventariada, sem alternância de faixas. Isto se justifica pelo fato desta ser a faixa mais solicitada pelo tráfego, já que o fluxo de ônibus do transporte público se dá completamente por meio dela e, por consequência, é a faixa cujos defeitos apresentam maior severidade.

A segunda etapa foi a demarcação das superfícies de avaliação, denominadas estações, que são áreas limitadas pelas bordas da faixa de tráfego e por duas seções transversais, situadas, respectivamente, 3,00 m antes e 3,00 m após a estação considerada, conforme Figura 30.

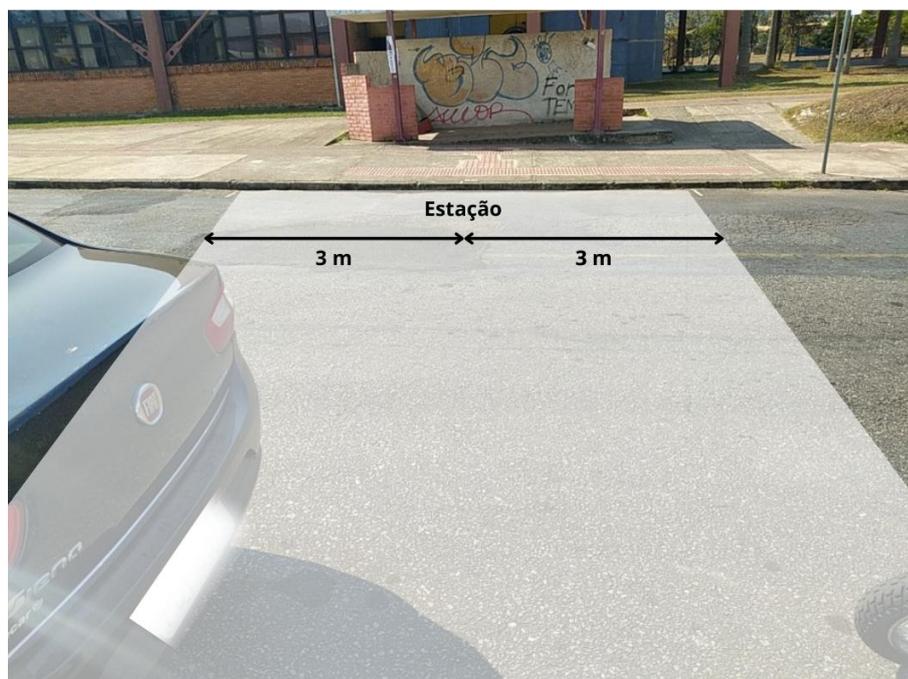


Figura 30 - Estação para inventário funcional. Fonte: Elaborado pelo autor.

A estação inicial (estação 00), destacada na Figura 30, foi demarcada em frente ao ponto de ônibus do prédio da Escola de Minas, que comporta os cursos de Engenharia e Arquitetura da UFOP, ponto escolhido por sofrer constantemente esforços provenientes da frenagem e aceleração dos veículos. O caminhamento seguiu o sentido horário de circulação.

Para essa tarefa, a medição foi realizada utilizando-se uma trena analógica com roda (Figura 31) e a marcação das estações foi feita utilizando-se tinta acrílica branca e uma trincha de 1 polegada. Foram demarcadas, ao todo, 94 estações ao longo da via analisada.



Figura 31 - Trena analógica com roda. Fonte: Acervo próprio.

A terceira etapa consistiu na aplicação do método do IGG, a partir do levantamento das ocorrências de manifestações patológicas em cada estação, por meio de uma planilha de inventário. Este inventário foi preenchido através de observações realizadas nos dias 13, 20, 24 e 25 de setembro de 2022. Os dados levantados estão no formulário de inventário do estado da superfície do pavimento, adaptado do Anexo B da norma DNIT 006/2003 - PRO, que se encontra no Apêndice A.

A medição dos afundamentos das trilhas de roda, segundo a norma, é feita utilizando uma treliça metálica padronizada, com 1,20 m de comprimento na base, dotada de régua móvel instalada em seu ponto médio, conforme Figura 17. Entretanto, dada a dificuldade em obter tal instrumento, a medida foi realizada utilizando equipamentos de ensaio CBR de Campo e uma régua metálica de precisão, conforme Figura 32. Os suportes foram calibrados de modo que a régua CBR de campo esteja

a uma altura de 300 mm, de modo que a medida da flecha é obtida subtraindo 300 mm da medida aferida na régua de precisão.



Figura 32 - Aparelhagem utilizada na medida das flechas das trilhas de roda. Fonte: Acervo próprio.

Por fim, esses dados foram tratados, seguindo o procedimento descrito na revisão bibliográfica, ou seja, para defeitos dos tipos 1 a 8 foram calculadas a frequência absoluta e a frequência relativa e para as trilhas de roda foram calculadas a média e a variância das medidas das flechas. Em seguida aplicou-se o fator de ponderação para cada defeito, obteve-se o IGI de cada um deles e, enfim, calculou-se do IGG do pavimento do trecho analisado.

3.1.1 Caracterização da área de estudos

Este trabalho tem como objeto de estudo o Campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto, localizada no município de Ouro Preto, no estado de Minas Gerais.

A UFOP atende a mais de 12 mil estudantes, distribuídos entre os campi localizados nos municípios de Ouro Preto, Mariana e João Monlevade. A instituição oferta 54 cursos de graduação presenciais, 4 a distância e 61 programas de pós-

graduação, que englobam mestrados acadêmicos e profissionais, além de doutorados. A maior parte das unidades acadêmicas concentrada no campus Morro do Cruzeiro, situado no bairro Bauxita, em Ouro Preto.

Observando-se o pavimento do campus, é possível perceber que se trata de um pavimento flexível (ou asfáltico), dada a presença de ligante asfáltico, que confere uma coloração bastante escura ao pavimento.

Mendonça (2019), em seu Trabalho de Conclusão de Curso, objetivando realizar a determinação do ligante asfáltico de acordo com a temperatura e o tráfego da região do campus Morro do Cruzeiro - UFOP, utilizou uma metodologia que nos permite conhecer de maneira mais profunda o pavimento do campus e o tráfego local.

Embora não tenha feito intervenções para avaliar as espessuras e as condições das camadas inferiores (subleito, reforço de subleito e base), Mendonça (2019) mediu a espessura do revestimento asfáltico, por meio de um paquímetro, aproveitando para isso das painéis existentes.

A partir das espessuras medidas em sete pontos distribuídos ao longo do campus, Mendonça (2019) calculou a espessura média geral do campus, sendo essa altura de 3,58 cm.

Além disso, no mesmo trabalho foi realizada a contagem volumétrica de veículos no campus e, utilizando-se as instruções do Manual de Estudo do Tráfego (DNIT, 2006), calculou-se o parâmetro "N", encontrando $N = 1,5 \times 10^7$.

Já Gontijo (2021), em sua monografia, teve como objetivo dimensionar um revestimento ideal e compatível com o estudo de tráfego para o pavimento do campus Morro do Cruzeiro - UFOP, valendo-se para este fim do método tradicional do DNER (1981) e do Método de Dimensionamento Nacional - MeDiNa (DNIT, 2021).

Conforme calculado por Gontijo (2021), pelo método do DNER, o revestimento necessário para o pavimento do campus teria a espessura mínima de 5 cm. Já pelo MeDiNa, esta espessura seria de 10 cm.

4 RESULTADOS

Por meio do trabalho desenvolvido, foi possível constatar a presença de muitos dos defeitos descritos na norma do DNIT (2003). Das 94 estações inventariadas, apenas as estações 35, 36 e 39 não apresentaram defeito, enquanto as outras 91 apresentaram pelo menos um tipo de patologia.

Uma das patologias mais observadas foram as trincas transversais curtas, com frequência absoluta de 57 ocorrências, cuja causa está ligada à retração da capa asfáltica devido a baixas temperaturas ou ao endurecimento do asfalto.

O segundo defeito mais observado foram as trincas do tipo “couro de jacaré”, com 52 estações afetadas, indicativo de estado de fadiga do pavimento, já que sua origem está associada à repetição das cargas de tráfego. A alta frequência desse defeito é um sinal de alerta, já que com processos erosivos no pavimento, as trincas “couro de jacaré” podem evoluir para panelas. Assim, as camadas subjacentes ficam desprotegidas contra a ação das águas superficiais, podendo acarretar danos estruturais ao pavimento.

Outras patologias observadas na via foram as trincas transversais longas; as trincas longitudinais curtas e longas; a trinca tipo “bloco”; os afundamentos de consolidação; as panelas; os desgastes, e os remendos. A Figura 33 apresenta o gráfico da frequência dessas patologias, em termos absolutos.

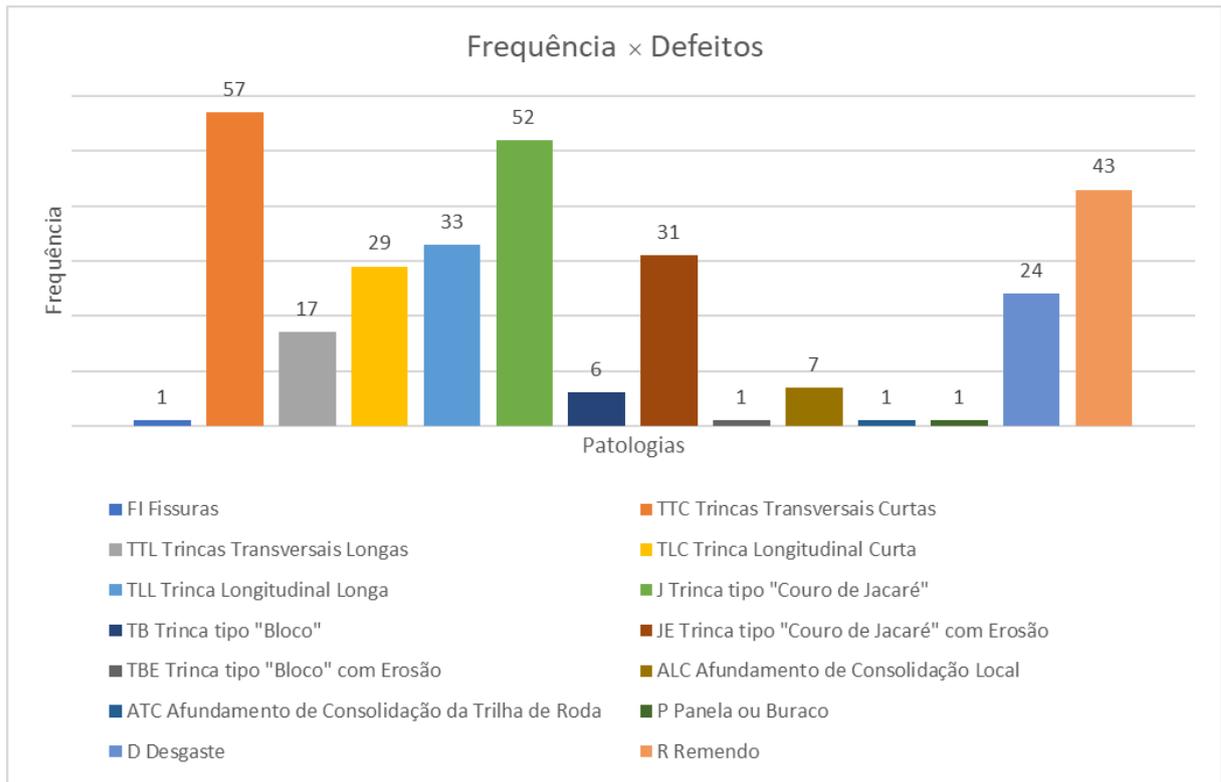


Figura 33 - Gráfico de frequência de patologias. Fonte: Elaborado pelo autor.

De posse das frequências absolutas das patologias, foram encontradas suas frequências relativas, para possibilitar o cálculo do IGI de cada tipo de defeito, a partir da multiplicação das frequências relativas pelo fator de ponderação. Para as deflexões dos trilhos de roda, o IGI foi encontrado por meio das médias das flexas da trilha de roda interna (TRI) e da trilha de roda externa (TER) e pela média de suas respectivas variâncias. Somando-se os IGI foi encontrado o IGG do pavimento. Isto está apresentado na Tabela 6.

Conforme já apresentado na revisão bibliográfica, quando em uma mesma estação são encontrados defeitos dos tipos 1, 2 e 3, apenas os defeitos do tipo 3 são considerados para fim de cálculo da frequência relativa e, quando encontrados defeitos dos tipos 1 e 2, consideram-se apenas os defeitos do tipo 2. Por isso, na Tabela 6 os valores da “Frequência absoluta considerada” são inferiores aos da “Frequência absoluta” para os defeitos dos tipos 1 e 2.

Ainda, como observado na Tabela 6, o IGG para o pavimento da via estudada foi de 146,91. Conforme Tabela 5, apresentada na revisão bibliográfica e obtida da norma DNIT (2003), esse valor de IGG conceitua o estado geral do pavimento como ruim.

Tabela 6 - Planilha de cálculo do IGG. Fonte: Adaptado de DNIT (2003).

PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)									
LOCAL: Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) - Campus Morro do Cruzeiro									
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta		Frequência absoluta considerada		Frequência relativa		Fator de ponderação	IGI
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	137		60		63,8		0,2	12,8
2	(FC-2) J, TB	58		50		53,2		0,5	26,6
3	(FC-3) JE, TBE	32		32		34,0		0,8	27,2
4	ALP, ATP, ALC, ATC	9		-		9,6		0,9	8,6
5	O, P, E	1		-		1,1		1,0	1,1
6	EX	0		-		0		0,5	0
7	D	24		-		25,5		0,3	7,7
8	R	43		-		45,7		0,6	27,4
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRI =	3,48	TRE =	5,12	\bar{F} =	4,3	1,33	5,7
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TRlv =	22,19	TREv =	37,44	\overline{FV} =	29,81	-	29,81
Número total de estações		n = 94		Σ IGI = IGG =					146,91

Apesar de os resultados do método demonstrarem uma frequência maior de trincas isoladas, se forem somadas as trincas do tipo “couro de jacaré” e as trincas “couro de jacaré” com erosão, essa soma passa a representar a maior frequência absoluta. Há de se observar, que a soma do Índice de Gravidade Individual (IGI) dos itens 2 e 3, ou seja, trincas tipo “couro de jacaré”, trincas tipo bloco, “couro de jacaré” com erosão e bloco com erosão, representa aproximadamente 37% do IGG.

O método do IGG não considera diretamente a área afetada pelos defeitos. No entanto, a inspeção visual de campo revelou que trincas do tipo “couro de jacaré” (com e sem erosão) e do tipo bloco (com e sem erosão) estão presentes em praticamente

toda a extensão do pavimento do campus (conforme ilustrado na Figura 34). Essa constatação reforça a observação anterior de que a soma dos IGI desses defeitos corresponde à maior parcela do IGG.



Figura 34 - Trincas “couro de jacaré” no pavimento do Campus. Fonte: Acervo próprio.

Além disso, constatou-se que a severidade das degradações apresenta variações ao longo do pavimento, sendo mais acentuada em determinados trechos. Como exemplo, destaca-se o segmento entre a estação 0 (situada no ponto de ônibus do prédio da Escola de Minas) e a estação 2, onde, além da presença de uma panela, foram identificadas diversas intervenções corretivas por meio de remendos, indicando a existência pregressa de outras panelas nesse local. Essa condição está representada na Figura 35.



Figura 35 - Remendos e panela no trecho entre estação 0 e estação 2. Fonte: Acervo próprio.

Situação semelhante foi observada no trecho compreendido entre as estações 16 e 20, localizado em uma região de declive e que se estende até as proximidades do ponto de ônibus do prédio da Escola de Farmácia, conforme ilustrado na Figura 36. Ressalta-se que a panela visível na imagem não foi contabilizada para fins de cálculo do IGG, por estar situada entre as estações 19 e 20, em uma área não inventariada.



Figura 36 - Remendos e panela no trecho entre estação 16 e estação 20. Fonte: Acervo próprio.

Verificou-se que o aumento da severidade dos defeitos no pavimento ocorre, predominantemente, nas proximidades dos pontos de ônibus. Esse comportamento pode ser atribuído aos esforços repetitivos gerados pelas manobras de aceleração e frenagem dos ônibus nessas regiões.

Com base na Instrução de Projetos IP-002/2004, da Prefeitura do Município de São Paulo, o tráfego de veículos no campus Morro do Cruzeiro – UFOP pode ser classificado como pesado, considerando-se o valor obtido para o número N ($1,5 \times 10^7$). Segundo esse documento, o tráfego pesado corresponde à circulação diária de 301 a 1.000 veículos pesados (ônibus ou caminhões) por faixa de rolamento, o que equivale a um número típico de solicitações do eixo padrão (N) igual a 2×10^7 , para um período de projeto de 10 a 12 anos (PMSP, 2004). Ressalta-se que tais valores devem ser utilizados apenas como referência técnica, uma vez que se trata de um documento normativo de aplicação municipal, não sendo de adoção obrigatória em âmbito nacional.

Os resultados obtidos no campus Morro do Cruzeiro – UFOP indicaram que os defeitos mais recorrentes nos pavimentos foram as trincas do tipo “couro de jacaré” (com e sem erosão), trincas do tipo bloco, panelas (buracos) e intervenções corretivas com remendos. Tais manifestações patológicas foram observadas com alta frequência ao longo de toda a extensão avaliada, especialmente nas proximidades de pontos de ônibus e trechos em declive.

Ao confrontar esses achados com a literatura técnica e os levantamentos nacionais, constata-se uma significativa convergência. Segundo o relatório “Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?” (CNT, 2017), os defeitos mais frequentemente identificados em rodovias brasileiras são justamente trincas em malha (tipo “couro de jacaré” e em bloco), afundamentos e panelas, os quais apresentam também os maiores pesos relativos no cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG), indicando seu elevado impacto na degradação da serventia do pavimento.

Esses resultados corroboram diretamente as observações feitas no campus da UFOP, evidenciando que os problemas ali identificados não são isolados, mas fazem parte de um panorama mais amplo da infraestrutura viária nacional.

Além das fontes nacionais, estudos realizados em outras universidades brasileiras confirmam esse mesmo padrão. No trabalho “Avaliação de Patologias Típicas em Pavimento Asfáltico no Acesso Viário do Campus Acadêmico do Agreste da UFPE”, foram identificadas trincas em bloco, “couro de jacaré”, panelas e remendos, associados principalmente a falhas de projeto e execução, bem como à sobrecarga do tráfego local (SILVA *et al.*, 2016).

Da mesma forma, o estudo “Levantamento Visual das Manifestações Patológicas do Sistema Viário do Campus da UFAM” apontou as trincas do tipo couro de jacaré, panelas e remendos recorrentes como os defeitos mais presentes. As causas identificadas incluem tráfego intenso, falhas na compactação, drenagem deficiente e intervenções corretivas ineficazes (DUTRA, SOUZA e LOPES, 2020).

Essa convergência entre os dados obtidos na UFOP e os resultados de estudos em outras instituições de ensino superior, bem como os levantamentos nacionais, sugere que os problemas observados fazem parte de um padrão recorrente nas vias internas de campi universitários e rodovias brasileiras. As causas, de modo geral, estão relacionadas a falhas construtivas, ausência de manutenção preventiva, esforços repetitivos de tráfego pesado e deficiências no escoamento de água, fatores que comprometem a durabilidade e a funcionalidade do pavimento.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal realizar o levantamento das condições funcionais do pavimento asfáltico do campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), por meio de inspeção visual e aplicação do método do Índice de Gravidade Global (IGG), com o propósito de avaliar seu estado de conservação. A metodologia adotada compreendeu a delimitação da área de estudo, o mapeamento das manifestações patológicas, o registro das frequências dos defeitos observados, o cálculo dos Índices de Gravidade Individual (IGI), culminando na obtenção do Índice de Gravidade Global (IGG), que sintetiza o estado funcional do pavimento.

Os resultados obtidos revelaram a ocorrência predominante de trincas do tipo “couro de jacaré”, trincas em bloco, remendos e panelas (buracos) ao longo de praticamente toda a extensão analisada, indicando sinais de fadiga do material e fim da vida útil do pavimento. Observou-se ainda que esses defeitos são mais acentuados nas regiões de parada de ônibus, onde ocorrem esforços de frenagem e aceleração. O Índice de Gravidade Global (IGG) calculado para o trecho foi de 146,91 o que, segundo os critérios da norma DNIT 006/2003-PRO, classifica o pavimento como estando em condição funcional ruim.

Esses achados foram comparados a estudos realizados em outras universidades brasileiras (UFPE e UFAM), bem como aos levantamentos nacionais da Confederação Nacional do Transporte (CNT). A análise comparativa evidenciou que os mesmos tipos de defeitos identificados na UFOP também estão entre os mais frequentes em outras instituições e rodovias do país. Esse padrão aponta para problemas estruturais comuns relacionados à ausência de manutenção preventiva, falhas construtivas, tráfego intenso e drenagem deficiente.

A principal contribuição deste trabalho está na consolidação de um diagnóstico técnico detalhado do pavimento do campus, utilizando metodologias reconhecidas e comparando os resultados com referências nacionais. Além disso, os dados obtidos podem subsidiar futuras intervenções, auxiliando no planejamento de ações de manutenção corretiva e, preferencialmente, preventiva.

Desse modo, conclui-se que são necessárias intervenções nas vias do Campus, as quais devem ser fundamentadas em um projeto de restauração adequado. Ressalta-se, contudo, que a definição das soluções mais apropriadas exige uma análise mais aprofundada, com inspeção do pavimento de todo o campus, em ambas as faixas de rolamento, a fim de proporcionar um conhecimento mais completo sobre as patologias existentes e suas causas. Assim, além da avaliação funcional – foco deste estudo –, é extremamente importante a realização da avaliação estrutural do pavimento, que permite avaliar se os defeitos estão limitados ao revestimento asfáltico ou se são reflexo de problemas nas camadas subjacentes, garantindo maior assertividade na escolha do método de restauração do pavimento.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

O presente estudo restringiu-se à avaliação funcional de uma das faixas da via que circunda o campus Morro do Cruzeiro. Para trabalhos futuros, sugere-se:

- Aplicação do método do IGG para a outra faixa de tráfego da via, a fim de comparar com o presente trabalho e verificar a real influência dos veículos do transporte público sobre as patologias;
- Realização de avaliação funcional por levantamentos automatizados, eliminando a subjetividade humana nesse processo;
- Realização de avaliação estrutural (destrutiva ou não destrutiva) do pavimento do Campus.

REFERÊNCIAS

AASHTO. **Pavement Management Guide**. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DCC/USA. 2012.

ALBUQUERQUE, F. S. **Sistema de gerência de pavimentos para departamentos de estradas do nordeste brasileiro**. PPGEC/UFRGS. Porto Alegre, p. 303. 2007.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração**. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica - Formação Básica para Engenheiros**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2008.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2014**. Confederação Nacional do Transporte. [S.I.]. 2014.

CNT. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Confederação Nacional do Transporte. Brasília, p. 160. 2017.

CNT. **Conjuntura do Transporte - Investimentos**. Confederação Nacional do Transporte. [S.I.]. 2021.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2021**. Confederação Nacional do Transporte. [S.I.]. 2021.

DNER. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, 1981.

DNIT. **Norma DNIT 005/2003 - TER, "Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos - Terminologia"**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro - RJ. 2003.

DNIT. **Norma DNIT 006/2003 - PRO, "Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento"**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro - RJ. 2003.

DNIT. **Manual de Estudos de Tráfego**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro. 2006. (IPR - 723).

DNIT. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro. 2006.

DNIT. **IS-247: Estudos para Elaboração de Projetos de Implantação usando o Método de Dimensionamento Nacional - MeDiNa**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Brasília. 2021.

DUTRA, M. D. O.; SOUZA, L. V. P. D.; LOPES, M. O. **Levantamento Visual das Patologias do Sistema Viário do Campus Universitário da UFAM em Manaus - AM**. In: IV Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT 2020. Fortaleza-CE. 2020.

FIALHO, P. C. G. **Validação de Resultados do Inventário Funcional de Pavimentos Flexíveis com o Emprego do Equipamento Pavement Scanner**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - USP. São Paulo, p. 185. 2015.

FONTENELE, H. B.; ZANUNCIO, C. E. M.; JUNIOR, C. A. P. D. S. O excesso de peso nos veículos rodoviários de carga e seu efeito. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Londrina/PR, Novembro 2011. 95-103.

FRANCISCO, A. P. S. **Comportamento Estrutural de Pavimentos Rodoviários Flexíveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção) - Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, p. 132. 2012.

GONTIJO, G. M. **Estudo de tráfego e da viabilidade de dimensionamento de um pavimento ideal para o Campus Morro do Cruzeiro/UFOP - Ouro Preto/MG**. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Ouro Preto/MG. 2021.

MENDONÇA, S. **Determinação do Ligante Asfáltico de Acordo com a Temperatura e o Tráfego da Região – Estudo de Caso: Ouro Preto, MG**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto/MG. 2019.

PANTIGOSO, J. F. G. **Uso dos sistemas de informação geográfica para a integração da gerência de pavimentos urbanos com as atividades das**

concessionárias de serviços públicos. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos. 1998.

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

PMSP. IP-02/2004: Classificação das Vias. **Prefeitura do Município de São Paulo,** 2004. Disponível em: <https://capital.sp.gov.br/web/obras/w/normas_tecnicas/31336>. Acesso em: 28 out. 2022.

SCHWAB, K. **The Global Competitiveness Report 2019.** World Economic Forum. [S.I.]. 2019.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação.** 1ª. ed. São Paulo: Editora PINI, v. 2, 2001.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** 2ª. ed. São Paulo: Editora PINI, v. 1, 2007.

SILVA, J. F. F. et al. **Avaliação de Patologias Típicas em Pavimento Asfáltico no Acesso Viário do Campus Acadêmico do Agreste da UFPE.** In: VII Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia DeVry Brasil. Caruaru-PE. 2016.

SILVA, P. F. A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos.** 2ª. ed. São Paulo: Editora PINI, v. 1, 2008.

APÊNDICE A

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																							
LOCAL: Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) - Campus Morro do Cruzeiro																				Folha: 1			
Estação	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODA	
		ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONSOLID		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3	ALP 4	ALT 4	ALC 4	ALT 4								
0			X		X			X												X	X	6	5
1					X			X												X	X	1	5
2			X		X			X									X				X	5	3
3								X													X	5	9
4								X													X	0	17
5								X		X											X	8	13
6								X													X	10	19
7					X			X						X						X		10	12
8			X					X														5	2
9				X		X		X													X	6	15
10								X		X										X	X	19	12
11								X		X												5	28
12			X		X			X						X								12	10
13										X										X		8	14
14			X					X												X		3	8
15								X		X											X	2	0
16								X		X											X	10	0
17								X		X											X	11	25

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO

LOCAL: Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) - Campus Morro do Cruzeiro

Folha: 2

Estação	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODA	
		ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONSOLID		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3	ALP 4	ALT 4	ALC 4	ALT 4								
18			X			X		X		X										X	X	0	5
19			X							X											X	2	5
20			X	X																	X	4	15
21								X												X		8	6
22								X		X										X	X	7	19
23								X		X										X		5	13
24			X		X	X		X	X													7	3
25						X		X	X												X	4	0
26			X			X		X												X		2	0
27			X			X														X		6	3
28														X						X		0	0
29			X							X											X	2	0
30		X											X							X		0	0
31			X			X		X						X								8	8
32			X	X	X			X														10	5
33			X		X																	0	7
34					X	X		X												X		0	0
35	X																					0	0
36	X																					0	0
37								X												X	X	10	2

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																								
LOCAL: Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) - Campus Morro do Cruzeiro																				Folha: 3				
Estação	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODA		
		ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONSOLID		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)	
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3	ALP 4	ALT 4	ALC 4	ALT 4									
38				X																	X	3	0	
39	X																						0	5
40			X			X															X	8	7	
41			X	X	X	X		X		X										X	X	1	0	
42					X			X		X											X	9	15	
43				X	X	X		X		X											X	0	5	
44			X		X	X		X														0	0	
45			X			X		X		X										X	X	6	6	
46			X							X												0	0	
47			X			X				X											X	0	0	
48					X	X				X												0	0	
49			X			X				X												0	11	
50			X		X	X				X									X	X		0	0	
51			X			X		X						X							X	1	1	
52			X			X		X													X	0	3	
53						X				X				X								26	3	
54			X			X		X													X	6	5	
55			X		X					X											X	0	8	
56			X	X	X					X												0	0	
57			X			X				X										X		13	0	

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																							
LOCAL: Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) - Campus Morro do Cruzeiro																				Folha: 4			
Estação	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODA	
		ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONSOLID		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3	ALP 4	ALT 4	ALC 4	ALT 4								
58			X			X		X		X												2	7
59			X																	X	X	0	11
60			X			X		X		X											X	5	5
61			X		X			X		X											X	0	4
62								X														0	2
63			X							X	X										X	10	2
64			X	X				X												X		9	1
65			X			X															X	2	4
66			X			X		X														0	0
67			X		X	X															X	0	0
68			X	X						X				X							X	0	0
69			X					X													X	0	0
70								X													X	0	0
71			X	X																X		3	4
72			X		X	X																0	0
73			X		X																X	0	3
74			X	X	X	X			X												X	0	11
75			X		X																	0	0
76			X	X	X				X													0	0
77			X	X					X													0	0

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO

LOCAL: Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) - Campus Morro do Cruzeiro

Folha: 5

Estação	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODA	
		ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONSOLID		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3	ALP 4	ALT 4	ALC 4	ATC 4								
78				X		X			X											X	0	0	
79			X																			0	0
80																			X			0	0
81			X					X														1	0
82			X					X														1	16
83			X		X			X														5	8
84			X	X																		0	0
85			X					X														0	9
86				X				X														0	0
87			X		X	X																0	3
88																						0	2
89			X	X				X														9	2
90			X		X																	5	0
91					X	X																1	8
92								X	X													0	10
93			X		X	X		X														0	12