

**PROJETO FINAL 2 – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AVALIAÇÕES
FUNCIONAIS POR VÍDEO REGISTRO E MÉTODO DO CAMINHAMENTO**

RAFAEL ANTÔNIO DE QUEIROZ PEDROZA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA CIVIL

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

BRASÍLIA, JULHO DE 2019

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AVALIAÇÕES
FUNCIONAIS POR VÍDEO REGISTRO E MÉTODO DO
CAMINHAMENTO**

RAFAEL ANTÔNIO DE QUEIROZ PEDROZA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

**Prof. FÁBIO ZANCHETTA, DSc. (UnB)
(ORIENTADOR)**

Prof. FABIANA SERRA DE ARRUDA, DSc. (UnB)

Prof. PASTOR WILLY TACO GONZALES, DSc. (UnB)

DATA: BRASÍLIA/DF, JULHO de 2019.

FICHA CATALOGRÁFICA

PEDROZA, RAFAEL ANTÔNIO DE QUEIROZ

Análise Comparativa entre Avaliações Funcionais por Vídeo Registro e Método do Caminhamento [Distrito Federal] 2018. 94p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2018)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PEDROZA, R.A.Q. (2019). Análise Comparativa entre Avaliações Funcionais por Vídeo Registro e Método do Caminhamento. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 94 págs.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Rafael Antônio de Queiroz Pedroza

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Análise Comparativa entre Avaliações Funcionais por Vídeo Registro e Método do Caminhamento.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2019.

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Rafael Antônio de Queiroz Pedroza

SQN 104 Bloco E, apt 205 – Asa Norte, Brasília.

70733-050 – Brasília/DF – Brasil.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha família, a fonte de amor incondicional que esteve ao meu lado nos bons e maus momentos, nas vitórias e derrotas, nas horas de muita alegria e também quando parecia faltar um chão. Mesmo com todas as adversidades e brigas que surgem, sem vocês eu não seria quem sou hoje, vocês são parte de mim. Niva, obrigado pelos cafés da manhã metodicamente preparados, apoio e vontade de ajudar da forma que pudesse e todo o carinho demonstrado silenciosamente, você sempre esteve lá quando mais precisei. Chiquinha, sem o seu jeito da “muléstia” eu provavelmente teria me tornado um aluno ainda pior do que sou e com certeza não possuiria boa parte dos meus valores, e da sua forma batalhadora sempre nos mostrou como é importante lutar pelos sonhos. Nana, eu nunca poderia ter pedido uma companheira melhor e, mesmo sendo a capeta da minha irmã, é também minha melhor amiga e espelho (o orgulho da geração), e a quem eu tenho a certeza de que sempre terei ao meu lado. E é por essas e outras que amo vocês, família! Aos meus avós que gostaria que estivessem aqui nesse momento, obrigado por todo carinho e luta ao longo da vida, parte disso é de vocês também! Tia Elza, Tia Rita, Tio Zé, Cacá, Lulu (e Augusto) por estarem sempre ao meu lado e fazerem dessa família melhor ainda.

Aos amigos de longa data que posso chamar de irmãos e estiveram de perto ao longo dessa essa caminhada, obrigado por serem perturbados e por dividirem momentos inenarráveis: Marcos, Evaristo, Sanches, Luna, Dantas, Divo, Thai, Billy, Erick, Cadu, Pimp, Matheus e tantos outros.

Ao grupo de estudos Bonde Nota 10, que academicamente talvez não tenha colhido bons frutos, mas me trouxe 3 parceiros para a vida e para as mesas de bar. Gabriel N., Marcello G. e Augusto X., sem vocês a UnB não teria tido a mesma graça!

Ao meu orientador, pelas orientações e por acreditar no projeto mesmo quando eu mal conseguia sair do lugar para começá-lo. À UnB que a muito custo me ensinou sobre a vida.

E por último, mas infinitamente importante, as grandes pérolas que a UnB me deu o prazer de conhecer e são os amigos (as) e animais que eu espero levar para a vida e por nada trocaria: Ian, Igor, Guto, Maíra, Madriles, Rato, Surik, Ângelo, Goiana, Gabriel, Malagutti, Camilla, Loris, Gustavo, Anas, Mari, Felipe, Brunão, Fred, Victinho, e vários outros.

RESUMO

PEDROZA, R.A.Q. (2019). **Análise Comparativa entre Avaliações Funcionais por Vídeo Registro e Método do Caminhamento**. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.

As vias pavimentadas estão sujeitas a constantes ações de carga de tráfego e intempéries climáticas, e a fim de manter sua boa condição de uso e oferecer conforto e segurança aos usuários, faz-se necessária a adoção de medidas para conservação dos pavimentos. Com o auxílio de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) estruturado, é possível coordenar um conjunto de atividades de Manutenção e Reabilitação (M&R) dos pavimentos, no intuito de manter o pavimento em condições funcionais, estruturais e de segurança, proporcionando assim desenvolvimento econômico e social para a região. A avaliação da condição funcional da via pode ser realizada pela identificação de defeitos na superfície do pavimento ou por meio de sua irregularidade longitudinal. A avaliação fundamentada nos defeitos é executada mediante o reconhecimento do tipo de patologia, grau de severidade e extensão afetada pelos mesmos, chegando ao Índice de Condição do Pavimento (ICP). O objetivo desse estudo é comparar os métodos de avaliação de pavimentos, com ênfase na análise em pavimentos flexíveis pelo método do caminhamento e o método de vídeo registro. **Realizou-se o teste de hipótese no qual a hipótese H_0 considera que as médias globais do ICP Objetivo encontradas pela avaliação por caminhamento e vídeo registro são iguais para um grau de confiança de 95%, com os dados distribuídos pelo teste t de Student e correlação. Em termos gerais ambos os métodos apresentaram resultados semelhantes, apesar da hipótese H_0 ter sido rejeitada por pouco. O bom estado em grande parte das vias resultou na recomendação de “Nada a Fazer” (NF) em 40% das vias.**

Palavras-chave: Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP); Avaliação da condição funcional; Pavimentos flexíveis; Comparativo das avaliações pelo método do caminhamento e vídeo registro; Índice de Condição do Pavimento (ICP); teste de Hipótese e teste t de Student com correlação.

ABSTRACT

PEDROZA, R.A.Q. (2019). **Comparative Analysis of Functional Evaluations by Video Record and Hiking Method**. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.

Paved roads are subject to constant traffic and weather conditions, and in order to maintain their good condition of use and offering comfort and safety to users, it is necessary to adopt measures to preserve pavements. With the aid of a structured Pavement Management System (PMS), it is possible to coordinate a set of Maintenance and Rehabilitation (M & R) activities of the pavements, in order to maintain the pavement in functional, structural and safety conditions, thus providing economic and social development for the region. Based on evaluative methods of the surface of the floor and creating a database of the history of interventions, it is possible with the advent of the PMS tool to program, plan and design the best alternatives of intervention on the road. The evaluation of the functional condition of the road can be performed by identifying defects on the pavement surface or by its longitudinal irregularity. The assessment based on the defects is performed through the recognition of the type of pathology, degree of severity and extent affected by them, achieving the Pavement Condition Index. The purpose of this study is to compare pavement evaluation methods, with emphasis on the analysis of flexible pavements by the hiking method and the video recording method.

Key words: Pavement Management System; evaluation of the functional condition; flexible Pavement; hiking method and the video recording method, Pavement Condition Index; Hypothesis test and Student's t-test with correlation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. OBJETIVOS	10
1.2. JUSTIFICATIVA.....	10
1.3. ESTRUTURAÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. CONCEITO DO SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS –SGP .	12
2.2. ORIGEM.....	13
2.3. NÍVEL DE REDE E NÍVEL DE PROJETO	15
2.4. AVALIAÇÃO FUNCIONAL	21
2.4.1. INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX (<i>IRI</i>).....	22
2.4.2. VALOR DE SERVIENTIA ATUAL (VSA)	26
2.4.3. PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI)	28
2.4.3.1. CÁLCULO DO PCI.....	30
2.4.4. MANUAL <i>STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM</i> (SHRP)	32
2.4.5. ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)	33
2.4.6. LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO (LVC)	35
2.4.7. COLETA DE DADOS POR IMAGEM	37
2.4.8. VÍDEO REGISTRO	38
2.5. ATIVIDADES E ESTRATÉGIAS DE M&R	41
2.6. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL	45
2.7. AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA.....	48
3. MATERIAIS E MÉTODOS	50
3.1. LOCAL DE ESTUDO	51
3.2. AVALIAÇÃO EM CAMPO POR CAMINHAMENTO	51
3.3. AVALIAÇÃO EM CAMPO POR VÍDEO REGISTRO.....	54
3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA	59
4.1. RESULTADOS DA AVALIAÇÃO POR CAMINHAMENTO	62

4.2. RESULTADOS DA AVALIAÇÃO POR VÍDEO REGISTRO.....	68
4.3. COMPARAÇÃO ENTRE O ICP OBJETIVO DAS AVALIAÇÕES	73
5. CONCLUSÃO	76
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ADENDO 1	81
ANEXOS.....	91

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem sua matriz de transportes fundamentada no modo rodoviário, fruto de políticas públicas adotadas na década de 1950 para interligar os grandes centros urbanos e o litoral ao interior do país, além de atrair indústrias automobilísticas e siderúrgicas. De acordo com a Confederação Nacional de Transportes (CNT), em 2018, a matriz rodoviária corresponde a 60% do fluxo de mercadorias da nação e seu mau estado de conservação gera um acréscimo médio de 25% no custo operacional. Sendo assim, é vital a conservação da malha viária a fim de proporcionar o desenvolvimento econômico e social de uma região (FERNANDES, 2017).

O crescimento do número de automóveis ao longo do último século gerou a demanda da implementação de Sistemas de Gerência de Pavimento (SGP) em diversos países, priorizando as intervenções necessárias e pontuais na malha rodoviária de forma a otimizar os recursos disponíveis. Pavimentos são estruturas de elevado grau de complexidade, as quais abarcam diversas variáveis, tais como: cargas do tráfego, solicitações ambientais, técnicas construtivas, práticas constantes de manutenção e reabilitação, especificação e qualidade dos materiais empregados. Tendo em vista sua relevância e representatividade no conjunto físico-financeiro da infraestrutura de transportes, investir na melhoria de seus componentes e processos pode produzir grandes economias em valores absolutos (FERNANDES JR *et al* ,1999).

No Brasil, os serviços de conservação são realizados por órgãos públicos, como o Departamento de Estradas de Rodagem (DER) ou órgãos privados (concessionárias), e as secretarias de obras das prefeituras realizam conservação de suas vias urbanas. Apesar de em algumas cidades haver a busca em implementar um sistema capaz de gerenciar as atividades de conservação de vias urbanas e rodoviárias, ainda é muito incipiente ao longo do país a adesão a um SGP (LIMA, 2007).

O principal fator que afeta a qualidade da rede rodoviária brasileira é a incidência de defeitos, construtivos ou não, desenvolvidos ou agravados com o passar do tempo em função do tráfego, dimensionamento incorreto ou intemperismos. O conjunto desses fatores reduzem a capacidade do pavimento exercer sua função de proporcionar um rolamento seguro e confortável aos seus usuários (SCHMIDT, 2016).

O desgaste da rede rodoviária e urbana pela carência de investimentos e prática regular de Manutenção e Reabilitação (M&R) levanta certos questionamentos: como distribuir melhor os recursos para reparos na via? Qual a ordem de prioridades na manutenção? Quais os benefícios produzidos para a população decorrentes da aplicação desses recursos nos cuidados da malha viária se comparados ao repasse de verbas para outros setores da economia? O SGP atua como ferramenta regida por um processo racional de triagem dos segmentos prioritários e capaz de melhor monitorar e administrar os recursos aplicados na infraestrutura rodoviária (REIS, 2007).

1.1. OBJETIVOS

Será realizado teste de hipótese em que a hipótese H_0 considera que as médias globais do ICP objetivo encontrado pela avaliação por caminhamento e vídeo registro são iguais para um grau de confiança de 95%.

Dentre os objetivos específicos estão:

- Avaliar a condição funcional de vias urbanas com o método de caminhamento e por vídeo registro, estabelecendo um Índice de Condição do Pavimento (ICP) objetivo para os segmentos de rua avaliados;
- Avaliar a correlação entre os dados de ICP objetivo encontrados pelos diferentes métodos de avaliação empregados.
-
- Aplicar análise estatística com teste t de Student e correlação para verificar se os resultados aferidos pelo método do caminhamento e vídeo registro podem ser considerados iguais com confiança de 95%.

1.2. JUSTIFICATIVA

Perante o exposto, este estudo busca proporcionar a discussão e apresentar a relevância da adoção de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU). Utilizando-se da avaliação funcional pelo método de caminhamento e do procedimento de análise das condições do pavimento por vídeo registro, para

comparar ambos quanto à acurácia e precisão. O projeto integra parte de uma pesquisa em andamento proposta em edital universal do CNPq, em busca de analisar e propor uma metodologia de avaliação de pavimentos para implementação de um SGPU em municípios carentes de organização, estrutura e estudos nesse aspecto.

1.3. ESTRUTURAÇÃO

A pesquisa é estruturada em quatro capítulos. Este primeiro capítulo abarca a introdução e as considerações iniciais a respeito da temática da pesquisa, e os princípios que irão servir como base do estudo.

O segundo capítulo conceitua o tema do Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) partindo de um breve relato histórico e define temas importantes quanto à organização, estrutura e características do SGP. Além disso, aborda a avaliação da condição do pavimento pela forma funcional, estrutural e de segurança, com destaque para a avaliação funcional e seus métodos e manuais específicos, com descrição dos principais defeitos de superfície do pavimento estudados e técnicas adotadas no estudo deles.

O terceiro capítulo discorre sobre a metodologia da pesquisa e realizando considerações a respeito dos métodos de avaliação funcional em foco, o método de avaliação por caminhamento e o método de avaliação por vídeo registro. Neste tópico são descritas quais são as principais formas de surgimento de defeitos no pavimento e as medidas de M&R adotadas em cada caso, além de um apanhado geral quanto ao método de análise estatística a quais os dados obtidos por etapas futuras do estudo serão submetidos.

O quarto capítulo trará a apresentação dos resultados encontrados ao longo das avaliações realizadas em campo, com discussão dos dados obtidos pelos dois tipos de avaliações. Mediante os resultados finais de ICP objetivo encontrados por ambos os métodos é aplicado o teste de Hipótese, para uma hipótese nula de que os valores são iguais para confiança de 95% e, por fim, a correlação das amostras par a par.

Por último, o quinto capítulo expõe as conclusões finais e sugestões para pesquisas futuras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCEITO DO SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS –SGP

A realização do conjunto de atividades de planejamento e concepção, projeto, construção, manutenção e reabilitação de vias pavimentadas ou não pavimentadas por meio de uma via pública de serviços constitui a gerência de pavimentos. O Sistema de Gerência de Pavimentos – SGP visa, por meio de uma metodologia estruturada, auxiliar na tomada de decisões relativas às melhores estratégias de intervenção na estrutura de um pavimento, a fim de torná-lo utilizável, seguro e confortável para seus usuários. Por meio da estrutura organizada do SGP pode-se optar por decisões mais eficientes e com mais fundamento, visto que é possível alimentar o sistema de dados e simular cenários distintos para variados níveis de organização. Quanto maior for o nível de detalhamento e organização da estrutura proposta pelo SGP da agência ou instituição que o criou, mais fácil será sua implementação. Contudo, um controle da rede viária aplicável pode ser produzido sem a consideração de todos os detalhes da estrutura da agência (HAAS e HUDSON,1992).

O sistema de transporte e suas demandas se desenvolveram amplamente nas décadas recentes, sendo atualmente um vetor essencial no dinamismo do aparelho econômico do país e requisitando investimentos de elevado valor. Considerando o aumento de intensidade e envelhecimento da infraestrutura, a necessidade da melhora do setor tornou-se vital. O ponto primordial de um SGP é oferecer o pavimento em boas condições e ao menor custo, considerando toda sua vida útil (ALLEN *et al.*, 1992).

Para Shahin (1994), os pavimentos devem ser gerenciados e não apenas mantidos. O autor ainda avalia que quando os responsáveis são indagados a respeito do não emprego de técnicas mais modernas na gerência de pavimentos, é costumeiro afirmarem que não dispõem do recurso para inspeções ou optam por usar o dinheiro no reparo do pavimento. No entanto, isso vai na corrente oposta ao conceito do SGP. O *Federal Highway Administration (FHWA)*, órgão norte-americano que regula e provê assistência no projeto, construção e manutenção das rodovias dos Estados Unidos da América (EUA), na tentativa de corroborar com a implementação de um SGP em nível federal, estadual e municipal emitiu três diretrizes básicas. A primeira

é relacionada aos critérios de projeto e obriga as agências estaduais a adotar projetos de pavimento; a segunda determina a especificação dos materiais empregados nos projetos e um processo de seleção desses materiais definido; e por fim, a terceira diretriz determina a adoção de um SGP compreensível adotado por cada agência estadual, e que seja admitido pelo *FHWA* (ZANCHETTA,2017).

2.2. ORIGEM

Na década de 1950, a evolução nas pesquisas relacionadas à qualidade do pavimento avançou a partir da criação do conceito de serventia do pavimento e desempenho desenvolvido por Carey e Irick. Durante o estudo patrocinado pela *American Association of State Highway Officials - AASHO*, os pesquisadores visavam uma avaliação objetiva da qualidade de uma rodovia e, dessa maneira, conseguir distinguir não somente se um pavimento é ou não melhor que outro, mas o quão melhor ou pior ele pode ser.

Durante as décadas de 1950 e 1960 realizou-se nos Estados Unidos o *AASHO - Road Test* programa concebido no governo do presidente Eisenhower, e até então maior plano de pesquisa rodoviária, ao custo de 27 milhões de dólares (valores da época). Seu propósito era estudar o desempenho da estrutura do pavimento de variadas espessuras e componentes sob o estresse causado pelos ciclos de cargas de magnitudes e frequências conhecidas. O estudo é considerado o primeiro experimento do tipo para obtenção de dados que pudessem ser empregados na manutenção e gerência das rodovias e avaliou tanto o concreto de cimento Portland, quanto o pavimento de concreto asfáltico (*Highway Research Board, 1962*).

A fase de planejamento do *AASHO Road Test* transcorreu no início da década de 1950, e a partir de 1955, os serviços topográficos foram realizados com a construção das pistas experimentais entre 1956-1958 e realização dos testes entre 1958-1960. Os resultados começaram a ser divulgados a partir de 1961 (*Highway Research Board, 1962*).

O campo de testes consistia em seis circuitos de duas faixas, contando com trechos tangentes e curvas, além de uma seção de pavimento rígido e a outra flexível. Entre

as seis pistas, uma delas ficou sujeita apenas à ação de intempéries climáticas, enquanto as cinco restantes foram submetidas ao tráfego de caminhões, de carga regulada e específica para cada circuito, no intuito de proporcionar uma base de dados de espectro amplo.

Segundo Carey e Irick (1960), a avaliação quanto à adequação da estrutura de um pavimento está formada em cima de conceitos subjetivos relativos à visão de cada avaliador. Para os autores, o sistema desenvolvido por meio do AASHO *Road Test* trouxe um método analítico capaz de homogeneizar a conceituação de desempenho de um pavimento com o advento de índices técnicos objetivos e subjetivos fundamentados pelos testes realizados. Com isso em vista, Carey e Irick (1960) desenvolveram o conceito de “Serventia do Pavimento”, o qual é definido por (BARRELA, 2008) como a capacidade que um pavimento possui de oferecer rolamento seguro, suave, confortável e econômico para o seu usuário. Para Carey e Irick, havia a necessidade de conceituar alguns pontos da gerência de pavimentos, até como uma forma de aplicar definições técnicas ao AASHO *Road Test*.

Sendo assim, surgem o *Present Serviceability Rating* (PSR) e o *Present Serviceability Index* (PSI). O PSR consiste de uma avaliação subjetiva comandada por avaliadores treinados que julgam o pavimento como Aceitável ou Não-aceitável, conferindo notas de 0 a 5, onde 5 é o grau “ótimo” e 0 é “péssimo”, conforme representado na figura 2.1 que segue o modelo de avaliação proposto por Carey e Irick (1960). Já a avaliação objetiva, com o advento do PSI, foi concebida para combinar matematicamente os valores indicados a diversos tipos de defeitos de superfície (trincas, afundamentos de trilha de roda, remendos e irregularidade longitudinal) observados em uma via

A *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) lançou, em 1985, o primeiro guia em gerência de pavimentos, o qual influenciou o *Federal Highway Administration* (FHWA) a requisitar a adoção do SGP pelas agências atuantes nas rodovias estaduais. Dessa forma, a FHWA promove juntamente a AASTHO e ao *Transportation Research Board* (TRB) cursos de capacitação para o corpo de técnicos e engenheiros das agências. Em meados da década de 1990, grande parte dos órgãos estaduais e federais já haviam adotado algum SGP.

ACEITÁVEL?	
Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Indeciso	<input type="checkbox"/>

5	ÓTIMO
4	BOM
3	REGULAR
2	RUIM
1	PÉSSIMO
0	

Identificação da Seção: _____	NOTA: _____
Avaliador: _____	
Data: _____	Hora: _____
	Veículo: _____

Figura 2.1 - Modelo de ficha de avaliação de serventia.

Adaptada de (Carey e Irick, 1960).

2.3. NÍVEL DE REDE E NÍVEL DE PROJETO

O processo de tomada de decisão de um SGP é dividido em dois níveis: de rede e de projeto. O primeiro possui um foco mais amplo com a análise da malha rodoviária como um todo e a elaboração de programas de investimentos de médio e longo prazo. Por outro lado, o segundo é mais específico com a realização de estudos detalhados sobre as diretrizes estabelecidas e tendo, por isso, uma perspectiva de redução no tempo de avaliação em relação ao outro método (DNIT,2011).

A tomada de decisão em nível de rede é essencialmente de planejamento, programação e orçamento de forma a otimizar os recursos disponíveis. Caracteriza-se pela análise de toda a malha rodoviária utilizando informações gerenciais, ou seja, prevalecendo a quantidade de informação em detrimento ao detalhamento desses estudos, olhando por um ponto de vista macro do sistema. Nesta etapa, a prioridade recai em definir classes de condições das vias a fim de classificar os segmentos avaliados, promovendo uma distribuição técnica-financeira coerente com as intervenções do período (SILVA, 2017). As informações necessárias devem demandar um menor tempo para sua obtenção. Estas são utilizadas para a escolha da melhor estratégia selecionando os trechos prioritários da malha viária, indicando as atividades de manutenção e/ou reabilitação a serem implementadas, a época correta de execução dos serviços e qual o custo aproximado dessas intervenções.

A priorização de projetos usufrui da análise de dados a respeito da condição do pavimento para gerar uma pontuação ou índice que representa a condição global do pavimento estudado. As seções de pavimento são então ordenadas (ranqueadas) e categorizadas de acordo com o volume de tráfego, classe funcional e idade do pavimento. Algumas agências possuem critérios de *ranking* das seções de pavimento mais complexos, abrangendo mais fatores, tais como, atrito, capacidade estrutural, deficiências geométricas. Recursos para o M&R são alocados baseados no *ranking* de seções e a prioridade relacionada ao trecho (HAAS et al, 1994).

Em muitos casos, sistemas especialistas, conduzidos por profissionais com experiência, desenvolvem fatores de ponderação para o cálculo do Índice de Prioridade (IP). Os IPs podem ser empregados para hierarquizar e selecionar trechos e estratégias de M&R. São índices gerados por meio do julgamento subjetivo dos tomadores de decisão e compostos em função de fatores diversos como, por exemplo: Índice de Condição do Pavimento (ICP), Volume de Tráfego Diário Médio (VDM), idade do pavimento desde a última intervenção (LIMA).

Em nível de projeto, os SGP's empregam prioritariamente os conhecimentos de dimensionamento de pavimentos, tanto relacionados à construção como recuperação. A análise ocorre em trechos específicos das rodovias e as informações coletadas são utilizadas no detalhamento do próprio projeto bem como na execução da obra. Os estudos examinam, de maneira minuciosa e com elevado nível de detalhamento requisitado para a obtenção e na frequência dos dados levando à alta confiabilidade em análises de curto e médio prazo, a estrutura do pavimento. Indicam também os defeitos presentes nesses trechos de rodovias visando identificar as possíveis causas da deterioração e as consequências que estes podem induzir nas camadas adjacentes, além de obter uma previsão de durabilidade do pavimento.

Portanto, o gerenciamento em nível de projeto envolve dimensionamento, construção, manutenção e reabilitação procurando avaliar o tipo de serviço adequado à situação, seus custos e cronograma. Quando análises são feitas em paralelo em níveis de rede e projeto, o segundo utiliza-se de dados do primeiro, distribuindo recursos por meio das políticas adotadas. Posto isso, o nível de projeto vem como um complemento ao de rede. Na Figura 2.2 é representado um fluxograma dos

componentes de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) divididos em níveis de rede e de projeto.

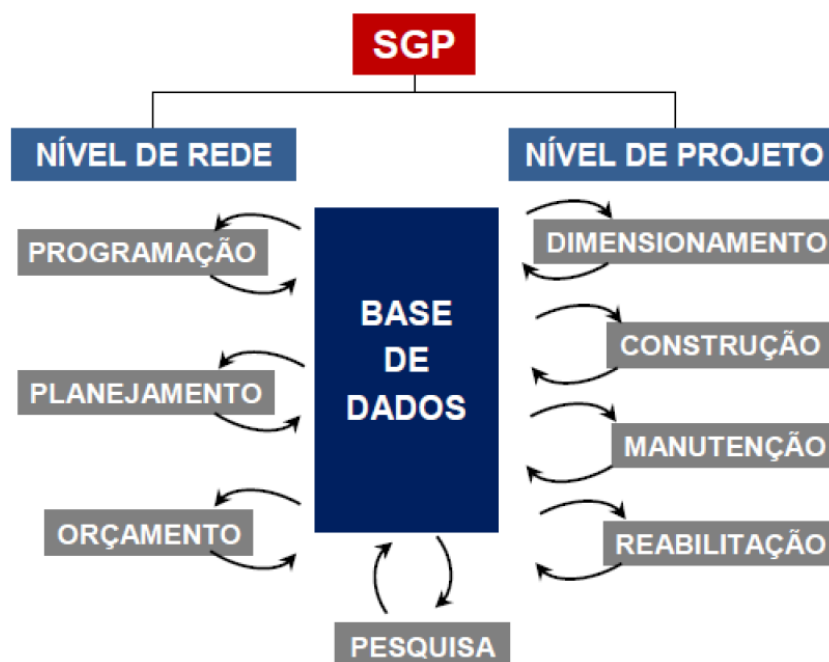


Figura 2.2 – Fluxograma de componentes de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos em Níveis de rede e projeto (FERNANDES JR *et al*, 1999).

As atividades de concepção, construção e manutenção são correntes na composição do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos - SGP, contudo, é necessário definir a estrutura desse sistema para compreender o que ele abrange, a sua função e de que forma é utilizado. De acordo com o Manual do Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - DNER (2000), um sistema é definido como “um conjunto de componentes que interagem mutuamente, afetados por fatores externos”.

A partir desta definição, um SGP contempla os seguintes processos segundo a *Roads and Transportation Association of Canada* –RTAC (1977): um vasto espectro de atividades, incluindo a programação de investimentos, projeto, construção, manutenção e avaliação periódica do desempenho. A função do “Gerenciamento de Pavimentos” em todos os níveis envolve a comparação de alternativas, a coordenação de atividades e a tomada de decisões visando uma implementação de maneira econômica e eficiente.

A visão exposta no Manual de Gerência de Pavimentos (2011) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) é de que o SGP “tem como

componentes, que devem interagir mutuamente, o planejamento, o projeto, a construção e a manutenção dos pavimentos. Como principais fatores externos podem ser citados os recursos orçamentários, os dados necessários ao sistema e as diretrizes políticas e administrativas”. O objetivo principal desse sistema é “alcançar a melhor aplicação possível para os recursos públicos disponíveis e oferecer um transporte rodoviário seguro, confortável e econômico”.

O Sistema de Gerência de Pavimentos é formado por seis subsistemas: “Pesquisa”, “Planejamento”, “Projeto”, “Construção e reconstrução”, “Manutenção e restauração” e “Banco de dados” (AASTHO, 2001) os quais estão relacionados entre si e tem funções particulares dentro do SGP. Logo, a função do SGP é auxiliar a tomada de decisão coordenando essas atividades de patamares distintos de gerência para a escolha da alternativa técnica e economicamente mais viável. O detalhamento, a frequência das investigações e o tipo de medições dependem do nível de exigência e do modelo de prioridades estabelecido pela organização.

- a) Pesquisa: realizar estudos para suporte técnico aos outros subsistemas conforme a demanda. Segundo Albuquerque (2007), com o advento de técnicas de avaliação de pavimentos; modelos de previsão de desempenho; características dos materiais de composição das camadas; técnicas de conservação e restauração; estrutura de SGP conhecida. Com base no banco de dados, o subsistema de “Pesquisa” é capaz de monitorar indicadores de qualidade do pavimento e com critérios definidos para irregularidade, deflexão, estrutura e qualidade para os usuários, são estabelecidos índices de condição para corroborar com as análises (CARDOSO *et al.*, 2000)
- b) Planejamento (Nível de Rede): compreende a avaliação das deficiências da rede rodoviária de modo a estabelecer ordenação de prioridades para implementação das melhorias necessárias e formar um programa de investimentos.
- c) Nível de Projeto: seguindo as diretrizes orçamentárias adotadas durante a etapa progressa, este subsistema utiliza informações sobre espessura das camadas, capacidade de suporte do subleito, avaliação estrutural para determinação da vida útil remanescente, tráfego, clima e custos para realizar a análise econômica das alternativas visando sua otimização e, dessa maneira,

selecionar a melhor estratégia para sua implementação (ALBUQUERQUE, 2007).

- d) Manutenção e restauração (M&R): definição e identificação das seções de pavimento para análise. Em nível de rede é possível escolher as alternativas e estratégias para M&R, enquanto por meio da avaliação de nível de projeto define-se as atividades de manutenção, e caso necessário, dimensionamento de reforços ou restaurações. É estabelecida uma agenda de trabalhos de preservação do pavimento a fim de prolongar a o tempo de serviço e a qualidade da rodovia, como mostra a figura 2.3.



Figura 2.3 Fluxograma básico de um SGP (FERNANDES JR et al, 1999)

- e) Construção e reconstrução: tem por função materializar os projetos, ou seja, executar as obras determinadas. Suas atividades principais constituem o detalhamento das especificações de contratos, operações de construção, controle de qualidade de execução, além de fornecer as informações adquiridas ao longo do processo ao banco de dados.
- f) Banco de Dados: etapa vital que deve ter estrutura bem organizada e didática, além de dados confiáveis pois suas informações interagem com os demais subsistemas. A figura 2.4 exemplifica o diálogo intercorrente entre o “Banco de Dados” e atividades de análise comuns no gerenciamento de pavimentos.

Faz-se necessária a recorrente atualização de informações do banco de dados visando mantê-lo capacitado a realizar previsões e modelagens futuras, além de proporcionar mais segurança na tomada de decisões. Com esses recursos o responsável técnico e administrativo será capaz de encontrar soluções adequadas, e com base na experiência dos erros já cometidos evitar que eles se repitam (SOUZA, 2015). Deve-se considerar informações como características ambientais da região, geometria da rodovia, histórico de intervenções, materiais e espessuras dos pavimentos devem constar no estudo básico de um levantamento de dados, como explicitado na Figura 2.5.

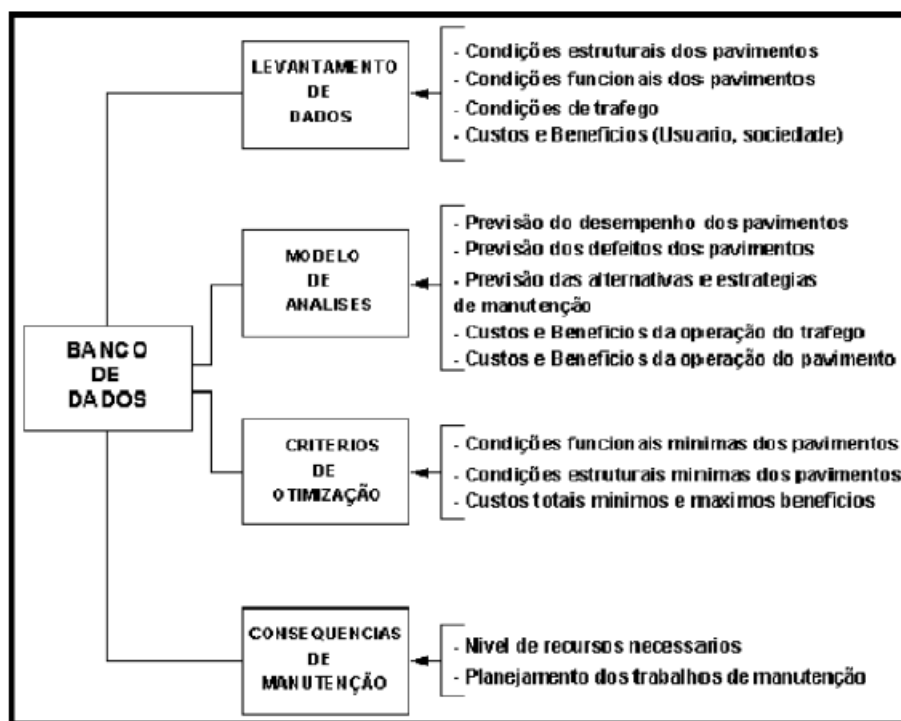


Figura 2.4 - Funcionalidades do SGP que interagem com o Banco de Dados (CARDOSO, 1994).

1. Dados relacionados ao desempenho	Utilização	4. Dados relacionados à geometria	Utilização
Irregularidade	R	Dimensões de seções	R
Desgaste de superfície	R + M	Curvatura Vertical	R
Deflexão	R + M	Curvatura Longitudinal	R
Atrito	R	Espessura da camada	R
Propriedades das camadas	R	Greide	R
2. Dados relacionados ao histórico	Utilização	5. Dados relacionados aos custos	Utilização
Manutenção	R + M	Construção	R
Construção	R + M	Manutenção	R + M
Tráfego	R + M	Reabilitação	R
Acidentes	R + M	Custos ao usuário	R
3. Dados relacionados à política	Utilização	6. Dados relacionados ao meio ambiente	Utilização
Orçamentos	R + M	Drenagem	R + M
Disponibilidades e alternativas	R + M	Clima	R
R – reabilitação; M – manutenção			

Figura 2.5 - Dados relevantes na formação do Banco de Dados
(ALBUQUERQUE, 2007)

2.4. AVALIAÇÃO FUNCIONAL

Avaliação funcional abarca a determinação da capacidade de desempenho funcional momentâneo, conceitualmente definida como “Serventia do Pavimento”, termo oriundo da década de 1960 por autoria de Carey e Irick (1960). A performance funcional relaciona-se à capacidade do pavimento em atender sua demanda principal, que é a de fornecer conforto e segurança por meio de uma superfície de serventia adequada no quesito qualidade de rolamento (DER/SP, 2006). O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006), considera como previsão do desempenho a capacidade de estimar o surgimento e quantificar a geração de defeitos ao longo da vida em serviço do pavimento.

A condição funcional de um pavimento é estabelecida por uma vistoria da superfície da rodovia. A avaliação funcional pode ser realizada com base na identificação de defeitos na superfície do pavimento ou de acordo com sua irregularidade longitudinal. A avaliação fundamentada nos defeitos é executada mediante o

reconhecimento do tipo de patologia, grau de severidade e extensão afetada pelos mesmos. Os índices e métodos mais relevantes no meio acadêmico para avaliação e análise desses defeitos na superfície do pavimento e os quais o presente estudo dará seguimento são: Índice de Irregularidade Internacional (IRI), Valor de Serventia Atual (VSA), o *Pavement Condition Index* (PCI), Índice de Gravidade Global (IGG), Levantamento Visual Contínuo (LVC), coleta de dados por imagem e Vídeo Registro. Há ainda o Manual *Strategic Highway Research Program* (SHRP), uma iniciativa cuja a prerrogativa básica foi desenvolver a avaliação e conceituar classes e tipos de falhas no pavimento, fornecendo um material amplo com caracterização de diversos defeitos, os quais os indicadores mencionados anteriormente realizam análises, como: trincas, panela, remendo, afundamento, ondulação ou corrugação, escorregamento, exsudação, desgaste. Mais à frente o Manual SHRP será empregado para a identificação de defeitos nas avaliações dos métodos de Vídeo Registro e Caminhamento, temas centrais da pesquisa.

2.4.1. INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX (IRI)

Admitido um plano de referência, define-se irregularidade de um pavimento como o desvio da superfície com relação ao mesmo plano. Essa variação na superfície acarreta consequências na dinâmica dos veículos, a suavidade de rolamento e as cargas dinâmicas sobre as vias. Tal fenômeno pode-se originar por intermédio de várias falhas, como: desgaste, trincamento, deformações, problemas construtivos e manutenções realizadas (ALBUQUERQUE, 2007). É o parâmetro que talvez melhor represente as condições de conforto de rolamento, sendo rotineiramente associada aos custos dos usuários, e por sugestão do Banco Mundial tomada como mais relevante na avaliação desses gastos (SILVA, 2017). A figura 2.6 relaciona os custos dos usuários e manutenção dos pavimentos, conforme a variação do volume de tráfego, pois esta relação é alterada em virtude da carga de tráfego.

Os valores do IRI também estão relacionados ao tipo de pavimento e com o controle de qualidade da sua execução. As notas desse índice estão distribuídas em quatro faixas conforme a qualidade da superfície da rodovia, variando entre Bom ($IRI \leq 3,0$) e Péssimo ($IRI \geq 5,5$), e são utilizadas para controle de obras e aceitação de serviços em diversos países. A figura 2.7 traz a correlação entre os valores de IRI

nos intervalos esperados segundo a classe de pavimentos e sua utilização, agregando ainda a velocidade de tráfego prevista para cada condição. Por exemplo, para uma autoestrada estima-se razoável um IRI de até 2 m/km devido sua característica de ser rota de tráfego para cargas elevadas e altas velocidades, devendo portanto, ter um IRI classificado como Bom.

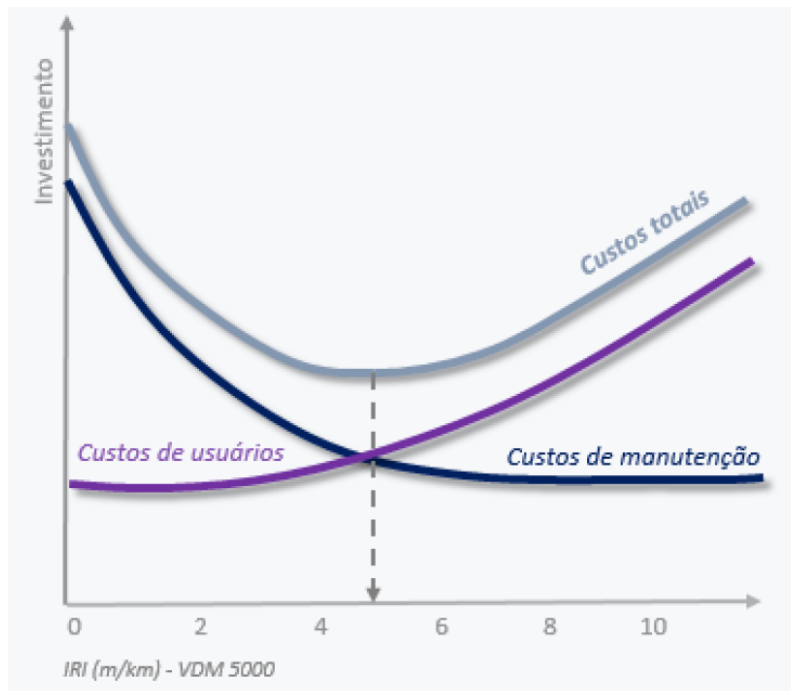


Figura 2.6 – Relação dos custos dos usuários em função da manutenção dos pavimentos (SILVA, 2017).

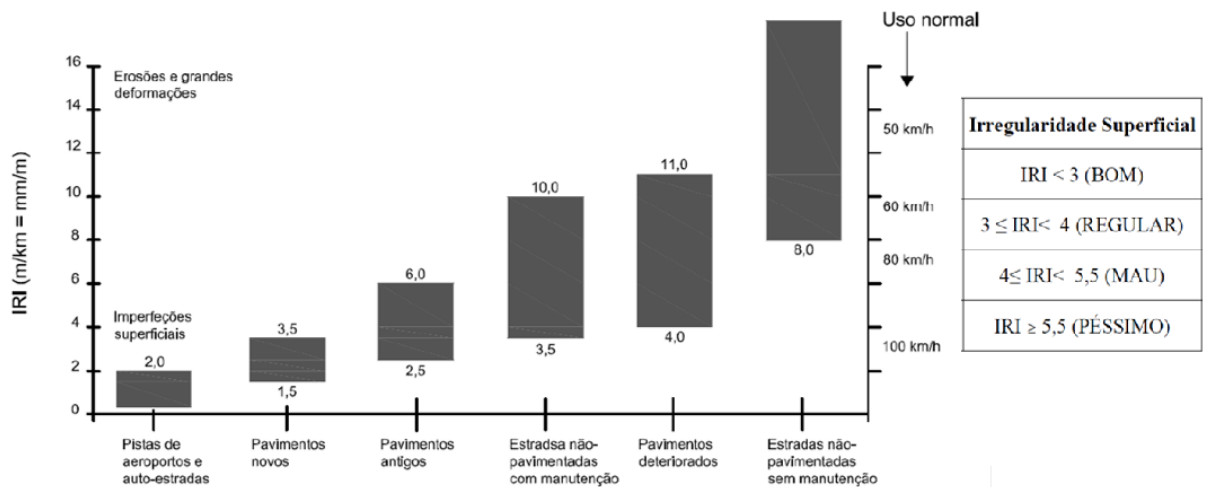


Figura 2.7 – Valores de utilização do IRI em pavimentos
Adaptada de (DNIT, 2011)

Dentre as formas mais empregadas para obtenção do IRI tem-se o sistema de medição de irregularidade tipo resposta, perfilômetro a laser e o medidor de irregularidade MERLIN (*Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation*). Os dois primeiros são adequados para análises em nível de rede, fazendo uso de um veículo em deslocamento para obtenção dos dados, enquanto ao medidor de irregularidade MERLIN cabe um operador manual atuando em trechos descontínuos e pontuais (ALBUQUERQUE, 2007).

Para Sayers e Karamihas (1998), existem dois métodos para avaliação do IRI, a “Avaliação direta” e “Avaliação indireta”. Dentro da avaliação direta tem-se duas classes, os de Classe I (equipamentos de levantamentos topográfico de nível e mira, *Dipstick*, perfilômetro do TRL) e Classe II (equipamentos com sensor a laser e perfilógrafos). Ao passo que a avaliação indireta é realizada por equipamentos cujas reações veiculares às irregularidades são aferidas e acumuladas como deslocamentos verticais entre eixo e chassi do carro, os equipamentos tipo-resposta de Classe III (TRL *Bump Integrator*, *Maysmeter*, IPR-USP).

O equipamento tipo resposta, mais comum na medição da irregularidade, constitui em sensores de deslocamentos verticais, um quantificador de irregularidade com odômetro e um totalizador. Um carro de passeio com os equipamentos devidamente instalados trafega pela rodovia sem chuva, com um sistema medidor na roda direita para acompanhar a trilha de roda externa, e numa velocidade constante de circulação, procedimento descrito na norma DNER- PRO 182/94. O sistema integrador desenvolvido por IPR/USP (Instituto de Pesquisas Rodoviárias e Universidade de São Paulo) é o aparelho costumeiramente empregado no Brasil para realização da série de testes. Obtêm-se um perfil de resposta das imperfeições superficiais da via, pelo somatório da variação na distância entre o eixo e carroceria do carro. O valor resultante é correlacionado ao índice de irregularidade conforme o tipo de veículo e velocidade da pista avaliada (Barella *et al*, 2005).

O perfilômetro a laser vem crescendo em uso no Brasil pela sua capacidade de comparação e sua convergência com os dados adquiridos pelo equipamento tipo resposta, além da obtenção simultânea de dados de Afundamento de Trilha de Roda (ATR). Constitui-se de uma barra instalada na frente do veículo teste e equipada com

sensores a laser (ao menos dois, sobre os trilhos de roda), acelerômetros verticais, um sensor de movimento inercial e um computador, havendo a leitura simultânea do deslocamento vertical e longitudinal. A Figura 2.8 mostra o equipamento.



Figura 2.8 – Perfilômetro com sensor a laser

(Fonte: <http://www.engenhariaportugal.com>)

O medidor de irregularidade MERLIN (*Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation*), idealizado pelo laboratório britânico *Transport Research Laboratory* (TRL), serve como uma boa alternativa para levantamento de irregularidade em segmentos teste, contudo, sua baixa produtividade dificulta o uso em trechos contínuos. Consiste em um aparelho de estrutura metálica, composto por uma roda dianteira, uma haste fixa de apoio na parte de trás e um apoio central oscilante. Este último é responsável por aferir desvios longitudinais, e um ponteiro conectado ao apoio central indica visualmente as variações, permitindo o registro de dados. Pode ser visto um exemplar do equipamento na Figura 2.9 a seguir.



Figura 2.9 - Medidor de irregularidade MERLIN

(Fonte : <http://www.arteris.com.br>)

2.4.2. VALOR DE SERVENTIA ATUAL (VSA)

Conceito elaborado durante o American Association of State Highway Officials (AASHO) Road Test nos Estados Unidos pelos engenheiros Carey e Irick (1960), como Present Serviceability Ratio (PSR), e no Brasil equivalente a Valor de Serventia Atual (VSA). A intenção em formalizar tal análise era de possibilitar com atribuição de um caráter numérico a quantificar o grau de serventia e conferir efeito comparativo para os avaliadores. O VSA normalmente possui valores elevados logo após a construção da rodovia, pois o pavimento apresenta uma superfície suave com poucas irregularidades. No entanto, a qualidade executiva e a alternativa de pavimentação escolhida influenciam muito nos valores deste índice. Segundo Zanchetta (2017), o parâmetro é melhor destinado a ser aplicado em rodovias do que em áreas urbanas. Os valores do VSA foram divididos em faixas que determinam a qualidade do pavimento desde péssimo até excelente conforme pode ser observado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Níveis de Serventia do Pavimento
(DNIT, 2011)

Padrão de conforto ao rolamento	Avaliação (faixa de notas)
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Para efeito de comparação, a AASHO, na década de 1960, obteve valores de VSA iniciais de 4,2 em pistas de concreto asfáltico e 4,5 para as pistas de concreto cimento Portland (DNIT, 2011).

Ao longo do tempo, o desgaste sofrido pelo pavimento devido as cargas dos veículos e intempéries faz com que o índice VSA diminua atingindo limites de aceitabilidade e trafegabilidade, e, de modo inverso ao IRI, representa rolamentos de excelente condição quanto mais afastado de zero e próximo a cinco. As notas utilizadas como

limite são 2,5 para rodovias de alto volume de tráfego e 2 para as demais, e a partir desses valores uma operação de manutenção preventiva deve ser efetuada para restabelecer a qualidade da rodovia. Caso a manutenção do pavimento seja negligenciada ou inadequada, os valores do VSA podem atingir níveis nos quais a única alternativa é a reconstrução da rodovia. Este limite depende dos critérios estabelecidos, contudo, normalmente é próximo a 1. A Figura 2.11 exemplifica esquematicamente a curva do índice VSA em relação ao tempo ou ao tráfego com os limites de aceitabilidade e trafegabilidade citados (DNIT, 2011).

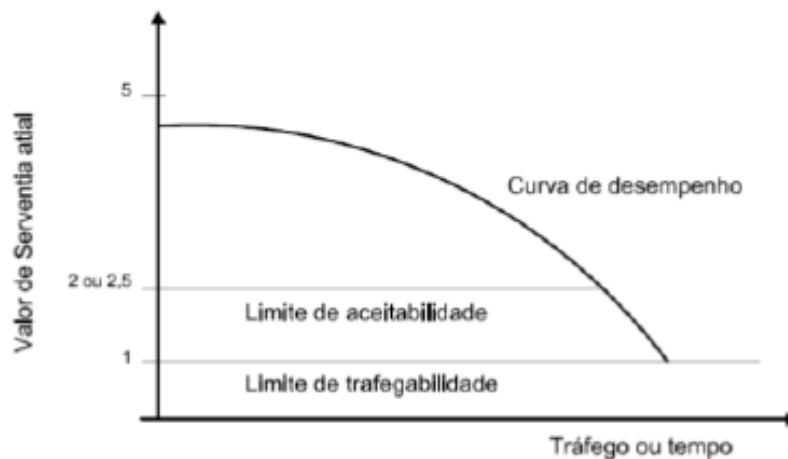


Fig 2.11 - Variação da serventia ao longo do tempo / evolução do tráfego.
(Romeiro Júnior, 2014).

Com o intuito de prolongar o período no qual o pavimento possui nível aceitável de rolamento são realizadas manutenções preventivas e corretivas periodicamente, ação exemplificada na Figura 2.12, coerente ao explicitado na Figura 2.11, na qual se apresenta a intervenção sendo aplicada no pavimento conforme sua serventia atinge valores não desejados, dando início a um novo ciclo de vida para a estrutura viária

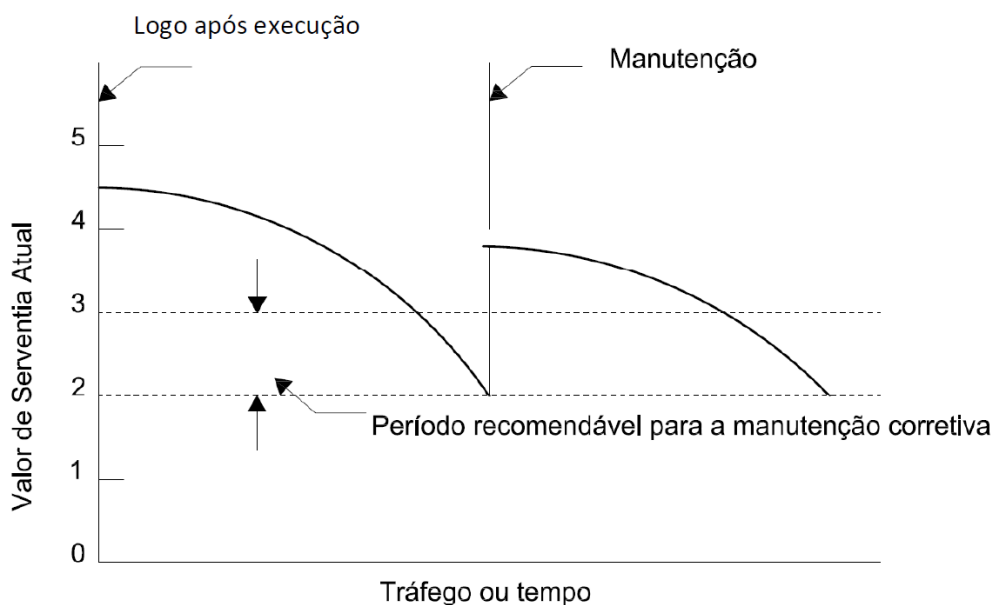


Figura 2.12– Período recomendável para manutenção de pavimentos
(HAAS, et al., 1994)

2.4.3. PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI)

O *Pavement Condition Index (PCI)* ou Índice de Condição de Pavimento (ICP), originou-se do método elaborado no *U.S. Army Corps of Engineers (USACE)* em 1976, com a intenção de ser introduzido em sistemas de gerência de pavimentos (SGP) nos estados americanos (Shahin, 1994). Apesar de sua concepção original ser voltada para pavimentos aeroportuários, aplicado pela FAA (*Federal Aviation Administration*), agência americana de transporte aéreo, seu emprego foi estendido para as rodovias com o passar do tempo. No cenário atual, o índice (ou seus derivados) ainda é largamente utilizado em ampla maioria dos Estados Unidos e em outros países, com o intuito de examinar as necessidades de manutenção no revestimento. Por meio de levantamento visual, um trecho de pavimento é examinado quanto a presença de defeitos, sua extensão e grau de severidade, e partindo da matriz de informações adquiridas um valor é apontado para o ICP do pavimento.

Sua representatividade dá-se por meio de uma escala numérica variável entre 0 a 100 (zero a cem), em que a condição crescente de valor relaciona a uma melhora na condição da superfície do pavimento, isto é, 0 seria a pior condição possível e 100

representaria a condição para tráfego perfeita. Há ainda uma associação de terminologias à escala numérica, com “excelente” ligado à faixa com melhor serventia e “péssimo” indicando a escala onde as condições de viagem são extremamente impactadas. A seguir a escala avaliativa do método PCI apresentada na Figura 2.13.

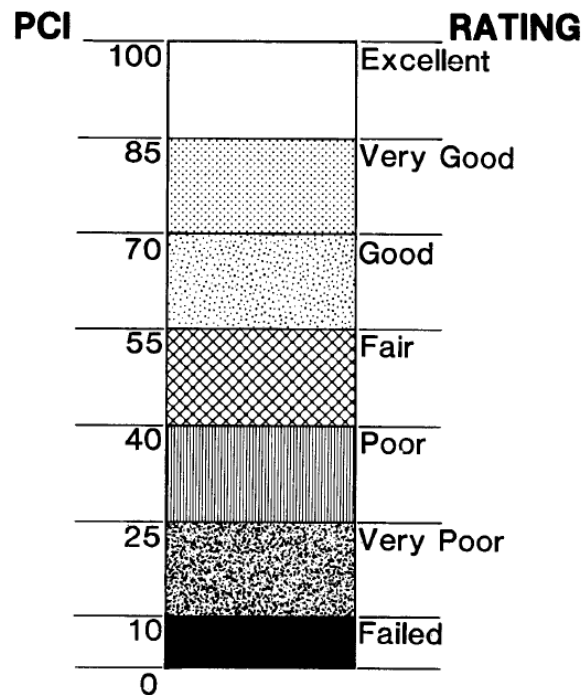


Figura 2.13 - Classificação numérica e caracterização verbal do método do PCI

Fonte: ASTM (2011)

De acordo com Machado (2013), as tomadas de decisões podem basear-se nos parâmetros numéricos, facilitando a adoção de uma estratégia de manutenção e reabilitação (M&R), e estabelecer prioridades. Segundo a autora, a “reconstrução” é indicada para valores de ICP entre 0 e 30, “recapeamento” (em níveis distintos para cada caso) corresponde a faixa de 30 a 80, e os pavimentos com índices bons de 80 a 100 recomenda-se “manutenções” pontuais conforme o caso. Vale ressaltar que o método não é habilitado a avaliar capacidade estrutural, bem como fornecer valores de resistência ou rugosidade, conforme exposto no ASTM (*American Society for Testing and Materials*) D6433. O monitoramento frequente auxilia no *feedback* com relação a performance da estrutura, e validação dos procedimentos de manutenção aplicados.

A preservação de rodovias deve ser planejada pelas agências governamentais sob uma ótica de longo prazo, não apenas para proteger o capital investido na construção da estrutura, mas também a fim de postergar a sua vida útil. A Figura 2.14, apresenta de forma gráfica o entendimento de que intervenções pontuais nas idades iniciais do pavimento, sobre os defeitos inventariados pela análise do método PCI, geram efeitos positivos a custo reduzido. Portanto, evidencia-se a importância de não aguardar a condição da via agravar-se, pois enquanto o PCI conceitual estiver acima de “regular”, os custos de M&R podem ser dez vezes menores (GALEHOUSE, et al., 2003).

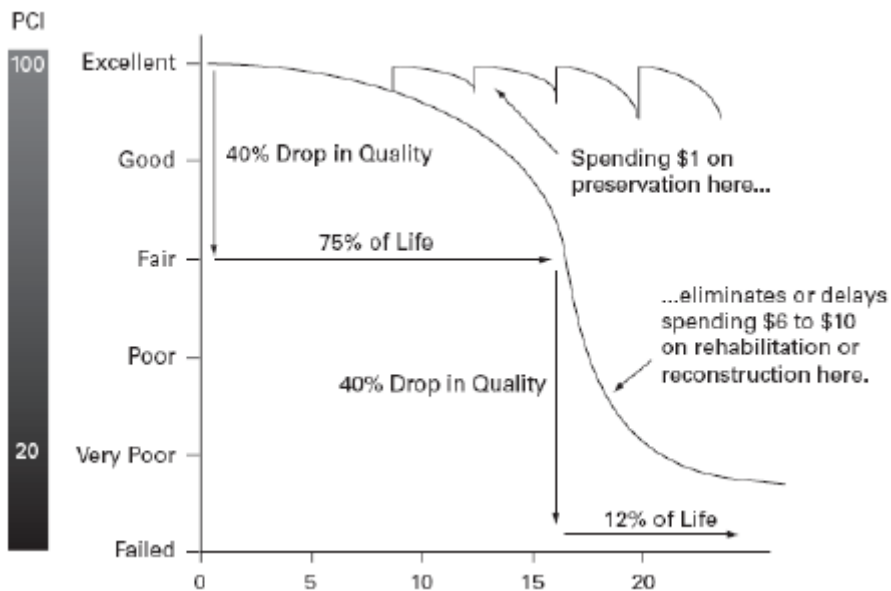


Figura 2.14 – Gráfico da relação entre período de intervenção e custo
(Fonte: GALEHOUSE, *et al.*, 2003)

2.4.3.1. CÁLCULO DO PCI

O processo de obtenção dos valores de PCI abaixo descrito segue o modelo apresentado no ASTM D6433 (2007) e utiliza a folha de dados fornecida pela instituição, a qual pode ser visualizada no Anexo 1, e os ábacos para determinar o “valor de dedução” presente no Anexo 2 (para efeito explicativo do método PCI será demonstrado apenas um dos ábacos referente ao defeito de “trincas por blocos”, sem inclusão dos outros respectivos a cada defeito).

Cada espécie de defeito é contabilizada em sua totalidade com registro do nível de severidade observado pelos avaliadores e apontados os valores finais na coluna “Total” da ficha técnica. A unidade de amostra tem os valores totais de defeitos observados em sua área discriminados segundo as respectivas severidades. Esse volume de patologias descrito é dividido pela área (m²) da presente unidade de amostra e em seguida multiplicado por 100, a fim de obter-se a “Densidade (%)” dos defeitos encontrados.

O próximo passo é estipular o “Valor de dedução”, o qual é encontrado por meio dos ábacos específicos a cada defeito (como supracitado, apenas o ábaco relativo a “trincas em blocos” será incluso no Anexo 2) que correlacionam a “densidade (%)” com o valor de dedução aplicado às curvas de níveis de severidade: baixa (L), média (M), alta (H).

O volume mínimo de unidades de amostra inspecionadas (n) dentro de uma sessão para conferir um nível de confiança de 95% do PCI da seção é calculado pela equação 3.1

$$n = \frac{N*s^2}{\left[\left(\frac{e^2}{4}\right)*(N-1)+s^2\right]} \quad \text{Eq (3.1)}$$

Onde:

e = erro aceitável, usual de $\pm 5\%$ pontos no PCI;

s = desvio-padrão entre as unidades de amostra da sessão, considerado 10 para pavimentos flexíveis.

N = total de unidades de amostra da seção.

A primeira amostra é selecionada aleatoriamente, mas após sua indicação todas as outras devem buscar um espaçamento uniforme nas delimitações da sessão. Com o número de unidades de amostra inspecionadas (n), arredondado para cima, obtido na etapa progressiva é encontrado o intervalo de espaçamento (i) entre tais amostras, como se observa na equação 3.2.

$$i = \frac{N}{n} \quad \text{Eq (3.2)}$$

Em seguida, deve-se calcular o “valor deduzido” (DV) e o “valor deduzido corrigido máximo” (CDV_{Max}). Se apenas um ou nenhum valor da dedução individual for maior

do que dois ($DV > 2$), o valor total será utilizado no lugar do CDV_{Max} para o cálculo do PCI. Contudo, caso os valores individuais de dedução sejam inferiores a dois ($DV < 2$) eles serão aplicados de forma decrescente, conforme explicitado na equação 3.3 abaixo.

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) * (100 - HDV) \leq 10 \quad \text{Eq (3.3)}$$

Onde,

m = número permitido de deduções;

HDV = maior valor de dedução individual.

O valor de m obtido deve ser discriminado entre a sua parte inteira e fracionária. Será considerado o valor inteiro, com a parte fracionária sendo multiplicada pelos DV em ordem decrescente. A dedução total será encontrada pela soma de todas as deduções individuais. A quantidade de deduções de valor maior que dois (2) feitas ao longo do processo será indicada pelo fator “ q ”. O valor total de dedução é obtido de forma gráfica por correlação com o fator “ q ”, gerando o valor de CDV. Realizando iterações é encontrado o CDV_{Max} , com processo iterativo finalizado ao chegar-se a um valor único de dedução representativo e as demais deduções equivalentes a dois ($DV = 2$) e $q = 1$. Diante do exposto, a nota de PCI será afirmada pela equação 3.4 a seguir.

$$PCI = 100 - CDV_{Máx} \quad \text{Eq (3.4)}$$

2.4.4. MANUAL STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (SHRP)

O *Strategic Highway Research Program* (SHRP), ou Programa Estratégico de Pesquisa Rodoviária, foi uma unidade do Conselho Nacional de Pesquisa americano autorizada pelo Congresso dos Estados Unidos em 1987 para atuar como uma iniciativa de pesquisa por um prazo inicial de cinco anos. Sua atuação devia ser no desenvolvimento e avaliação de técnicas e tecnologias no combate às condições de deterioração da malha rodoviária, garantindo melhorias na performance, durabilidade, segurança e eficiência dos pavimentos (*U.S. Department of Transportation*). Apesar da programação original ser para um período mais curto, a iniciativa foi estendida por mais 15 anos com a criação do SHRP's *Long-Term*

Pavement Performance (LTPP). Com um orçamento inicial de mais de 150 milhões de dólares, o programa SHRP inclui a participação de mais de 20 países, inclusive o Brasil, que promoverão pesquisas na área de pavimentação por um prazo total de 20 anos (FERNANDES JR, *et al.*, 1999).

Em 1993, foi lançado o terceiro manual de identificação de defeitos do SHRP - *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project* (Manual de Identificação de Defeitos para Desempenho de Pavimentos a Longo Prazo), o qual sedimentou conceitos relativos à análise de patologias de pavimentos de concreto asfáltico e concreto de cimento Portland. O presente estudo utilizar-se-á do SHRP (1993) na descrição dos 15 defeitos em pavimentos flexíveis abordados pelo manual, identificando-os por fotos ou figuras e grau de severidade. No Brasil há manuais que servem como complemento ao manual SHRP, como o *Manual de Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos* (DOMINGUES, 1993) que descreve 24 espécies de falhas, mecanismos de ocorrência, classe (funcional ou estrutural), níveis de severidade e métodos de medição.

A descrição dos tipos de defeitos, severidades, método de medição e imagens ilustrativas dos respectivos defeitos previstos no Manual SHRP (2003) e adaptados por Fernandes Júnior *et al* (1999), está contida no Adendo 1 ao fim do estudo.

2.4.5. ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)

Buscando uma análise objetiva quanto ao nível de deterioração de um pavimento a norma DNIT, 006/2003 – PRO assumiu o parâmetro IGG, que constitui um índice de combinação de falhas derivado “Severity Index”. A classificação do estado geral de um determinado trecho homogêneo de pavimento em função da incidência de defeitos de superfície pode ser feita pelo IGG. O mesmo sendo utilizado como índice das condições do pavimento para tomadas de decisões quanto às intervenções de restauração necessárias. A Tabela 2.2 a seguir traz os valores do IGG correlatos à qualidade do trecho de pavimento.

Tabela 2.2 – Avaliações de degradação do pavimento segundo o IGG.

Fonte: DNIT (2003).

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

O cálculo do IGG baseia-se no uso de fatores de ponderação aplicáveis a cada evento mensurado, os quais caracterizam sua influência sobre a serventia do pavimento. Os fatores que devem ser calculados são trazidos pelo DNIT, 006/2003 – PRO:

$$f_r = \frac{f_a * 100}{n} \quad \text{Eq (2.1)}$$

Onde:

f_r - frequência relativa;

f_a – frequência absoluta (corresponde ao número de vezes da ocorrência verificada);

n – número de estações inventariadas.

Outros fatores que devem ser levados em consideração e calculados são os utilizados no cálculo de flechas aferidas, sendo eles a média (x') e a variância (s^2) das trilhas de roda interna (TRI) e trilhas de roda externa (TRE), nas faixas de tráfego com mais solicitação.

A média é dada por:

$$x' = \frac{\sum x_i}{n} \quad \text{Eq (2.2)}$$

Enquanto o cálculo da variância é dado pelo desvio padrão dado por:

$$s = \left(\sqrt{\frac{\sum (x_i - x')^2}{n-1}} \right) \quad \text{Eq (2.3)}$$

Onde,

x' = valores individuais;

x_i = desvio padrão dos valores das flechas;

$s^2 =$ variância.

Em seguida, calcula-se o Índice de Gravidade Individual (IGI) para as ocorrências inventariadas pela equação a seguir:

$$IGI = f_r * f_p \quad \text{Eq (2.4)}$$

Onde,

f_r = frequência relativa; e

f_p = fator de ponderação.

O fator de ponderação acima mencionado é um valor pré-estabelecido e descrito na norma DNIT 006/2003 – PRO, com seus valores variando entre 0 e 1. Cada valor está associado a um tipo de deformação do pavimento desde as mais diversas trincas, até afundamentos, ondulações, escorregamentos, desgaste, exsudação e panelas. Efetuada a análise de um certo trecho de pavimento e inventariadas as patologias é possível chegar aos IGI's respectivos, e dessa forma obter-se o IGG partindo do princípio que o índice global é o somatório dos individuais, como visto na equação a seguir.

$$IGG = \sum IGI \quad \text{Eq (2.5)}$$

O Índice de Gravidade Global (IGG), como índice de qualidade de pavimentos urbanos, deixa brechas pois limita-se a avaliar apenas uma seção. Logo, em ambientes urbanos a premissa de avaliar por amostragem não traz vantagens. Por não avaliar a seção por completo, o método do IGG pode acarretar em falsas conclusões a respeito do estado como um todo dessa mesma seção, tendo em vista que o segmento avaliado pode estar livre de patologias, enquanto outros segmentos da seção venham a estar comprometidos (ZANCHETTA, 2017).

2.4.6. LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO (LVC)

O Levantamento Visual Contínuo (LVC), especificado no DNIT 008/2003 PRO, é executado por uma equipe formada de dois avaliadores e um motorista percorrendo um trecho para “calibragem” e, concomitantemente, gerando considerações manuais dos defeitos do pavimento previamente seccionado em trechos homogêneos (preferencialmente subtrechos de 1km de extensão).

O veículo deve ser operado a uma velocidade média aproximada de 40 km/h percorrendo a rodovia em um único sentido (rodovia de duas faixas de tráfego). No caso de rodovias com duas pistas de cada lado o levantamento será feito para cada pista em separado. Os trechos de rodovias de pista simples serão levantados em um único sentido, levando-se em consideração simultaneamente as duas ou mais faixas de tráfego (DNIT 008/2003 PRO). O sentido utilizado para o levantamento em rodovias de pista simples será sempre o sentido do Plano Nacional de Viação (PNV).

A análise subjetiva promovida no método LVC produz o Índice da Condição do Pavimento Flexível (ICPF), o qual é estimado com base na avaliação visual do pavimento, classificando a superfície do segmento de acordo com o conforto e segurança oferecidos aos usuários em uma escala de 0 (péssimo) a 5 (ótimo), semelhante ao Valor de Serventia Atual (VSA) do DNIT 009/2003 ou ao *Present Serviceability Index* (PSI), adotado pela AASHTO. Quanto mais elevada a nota do trecho, menos intensa deverá ser a manutenção ou reabilitação do mesmo. O LVC determina ainda outros dois parâmetros: Índice de Defeitos da Superfície (IDS) – relativo ao grau de deterioração da superfície do pavimento, representado pelo somatório da ponderação de frequência e pesos relativos às severidades de cada avaria observada; e Índice de Condição Funcional (ICF) - envolve aspectos relacionados aos defeitos de superfície e à serventia, em critério decisório envolvendo o VSA e o IDS.

Com o advento do LVC formulou-se o Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE), semelhante ao método IGG especificado pela norma DNIT 006/2003-PRO, que é feito com a média de dados contidos no “Formulário do Levantamento” obtidos por 2 ou mais avaliadores, utilizando-se a equação 2.6. O IGGE é avaliado segundo a frequência de defeitos e seus respectivos pesos. Sua abordagem se limita aos conjuntos de trincas, deformações e panelas e remendos, com cada grupo possuindo um peso específico em função da frequência de sua ocorrência.

$$IGGE = (Pt \times Ft) + (Poap \times Foap) + (Ppr \times Fpr) \quad \text{Eq (2.6)}$$

Onde:

F_t = frequência;

P_t = pesos do conjunto trincas (t);

F_{oap} = frequência do conjunto de deformações (oap);

P_{oap} = peso do conjunto deformações (oap);

F_{pr} = frequência (quantidade por quilômetro) de panelas (p) e remendos (r);

P_{pr} = peso do conjunto de panelas (p) e remendos (r).

2.4.7. COLETA DE DADOS POR IMAGEM

No início da década de 1980, Hartgen *et al.* (1982) elaboraram escalas visuais nos procedimentos de avaliação da condição de pavimentos. Com o crescimento da frota de veículos, escassez de recursos das agências governamentais para a manutenção e a reabilitação das vias, buscou-se novas técnicas de avaliação periódica de pavimentos que conferissem confiabilidade, rapidez e baixo custo (FONTENELE, *et al.*, 2013).

Foram criadas escalas visuais de classificação e catalogadas em um guia o qual apresentava imagens diversas das condições superficiais do pavimento e suas respectivas classificações. O estudo consistiu em 8 especialistas na área que revisaram um vasto material fotográfico de sessões de pavimento e qualificaram as fotos numa escala de 0 (zero) a 10 (dez) com referência à superfície de rolamento. A cada nota associou-se uma condição de pavimento com representação fotográfica para melhor elucidar a classificação.

No Brasil, Fontenele *et al.* (2007) realizou pesquisa similar ao Hartgen *et al.* (1982) com emprego de 60 fotografias demonstrativas de variadas condições de pavimento submetidas à avaliação de um corpo de especialistas da região de estudo com conhecimentos de solos e estradas. A escala de notas quantifica de 0 (péssima) a 100 (excelente). O grupo de avaliadores foi dividido em dois, um treinado na avaliação com a escala e o outro não, e após feitas considerações em cima das fotografias das avarias no pavimento, os resultados obtidos pelos dois grupos se mostraram próximos, evidenciando a eficácia do método de coleta de dados por imagens (FONTENELE, *et al.*, 2007).

2.4.8. VÍDEO REGISTRO

As formas mais disseminadas de obtenção de dados das condições dos pavimentos utilizam-se de vistorias de superfície de rolamento, seja manualmente ou com o auxílio de dispositivos computacionais. Com o constante avanço das tecnologias de informática e filmagem, veículos mais modernos e evolução dos sistemas de georreferenciamento via GPS (Global Positioning System), foi possível adaptar os automóveis utilizados no levantamento visual contínuo para um laboratório móvel de coleta de dados da malha viária (REIS, 2007).

Categorizado como um levantamento automatizado, o vídeo registro é feito com auxílio de veículos dotados de equipamentos de modernos como câmeras de vídeo-filmagem de alta resolução e também fotográficas, a velocidades variando entre 30 km/h e 110 km/h. As condições da superfície da via são gravadas e podem ser analisadas em um escritório por engenheiros ou técnicos treinados, permitindo reprisar o vídeo quantas vezes necessário para observações mais apuradas. O método capacita o estudo da extensão da rede por completo, sem que haja divisão da amostragem em segmentos.

O laboratório móvel de coleta de dados, figura 2.15, possibilita o levantamento dos seguintes itens, segundo Reis (2007):

- Defeitos descritos pelo manual SHRP, apresentados anteriormente, podem ser captados, catalogados e armazenados no computador analisando a condição contínua da via e relatando a ocorrência referida a cada defeito por km de rodovia vistoriada.
- Vídeo registro das rodovias com uma filmadora digital tipo profissional e com boa resolução, permite o registro visual de toda a extensão das faixas de tráfego.
- Geometria e georreferenciamento das rodovias por meio do GPS conectado ao laboratório móvel com determinação ao final do processo dos pontos georreferenciados, normalmente, em coordenadas UTM, vinculadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (atualmente SIRGAS2000 e SAD-69). Isto permite determinar a geometria do trecho percorrido.

- Dados precisos da distância real entre pontos notáveis da via, por exemplo a extensão do trecho entre duas cidades, adquiridos com um odômetro digital ligado ao velocímetro do veículo.
- Obtenção do Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI) com o uso de um equipamento de determinação da irregularidade do tipo resposta.

O presente estudo focará nos dois primeiros itens, com utilização do vídeo registro para gravação de percurso de via urbana pré-determinado na avaliação dos defeitos apresentados na superfície do pavimento.

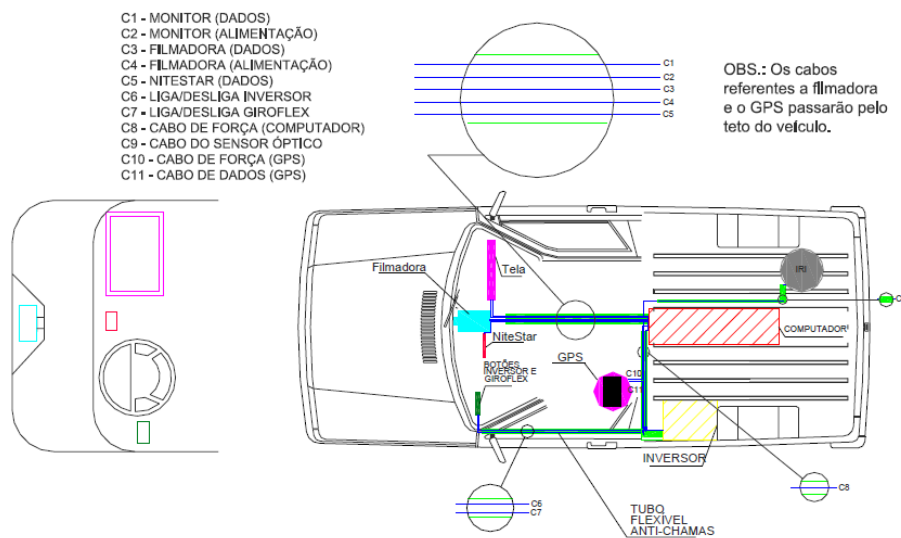


Figura 2.15 – Equipamentos presentes no laboratório móvel de coleta de dados (REIS, 2007)

Nos primórdios do uso dessa tecnologia, em meados da década de 1980, em vários países, institutos de tecnologia e empresas buscaram desenvolvê-la partindo de imagens analógicas de vídeo gravadas em fita VHS ainda com reduzida resolução, o que dificultava a análise precisa das avarias e difícil distinção entre tais defeitos, como por exemplo classificar as trincas. No Japão, o consórcio rodoviário Komatsu utilizou um veículo de pesquisa integrado ao sistema de coleta de dados criado pela empresa que conseguia obter imagens de 2048x2048 pixels, porém sob velocidade máxima de 10 km/h e durante a noite para controle das condições de iluminação, contudo o sistema não era capaz de identificar os tipos de trincas. Na Suécia empregava-se o PAVUE equipamento de aquisição de dados do pavimento, sistema

composto por 4 câmeras e gravadores S-VHS e sistema próprio de iluminação acoplados em um veículo. A estação de análise dos vídeos era padronizada, e permitia ao operador avaliar as gravações contínuas dos pavimentos. Atualmente, a metodologia predominante nos Estados Unidos e Europa é obter imagens 2-D e processá-las com programas computacionais (WANG, *et al*, 2011).

Dentre os sistemas e tecnologias mais avançados na captura de imagens está o LRIS (*Laser Road Imaging Systems*), apresentado na Figura 2.16 capaz de coletar dados e imagens durante dia ou noite sob influência de luz ou sombra, contanto que a superfície do pavimento esteja seca. A resolução proporcionada pelo conjunto alinhado de 2 lasers cobrindo uma linha de 4m de rastreamento e 2 câmeras digitais de 4096x4096 pixels permite realizar a varredura de defeitos com 1mm de espessura a 100km/h (WANG, *et al*, 2011).

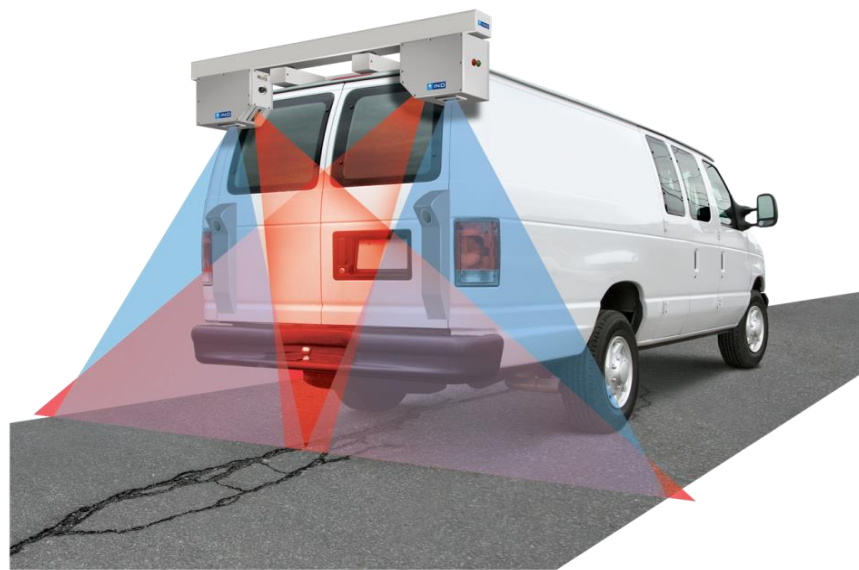


Figura 2.16– Veículo utilizado no LRIS para análise de trincas

(Fonte: <http://www.pavemetrics.com>)

No Brasil, desde 2012, o DNIT emprega o Veículo de Diagnóstico Rodoviário (VDR), projeto desenvolvido por sua subordinada Coordenação Geral de Planejamento e Programação de Investimentos (CGPLAN) ao longo de uma década. A iniciativa visava tornar mais eficiente quanto ao tempo e custo o serviço de avaliação de condição do pavimento das rodovias federais. Para isso otimizou as coletas de informações do IRI,

vídeo registro e LVC, antes feitas separadamente em períodos distintos e por empresas diferentes. O registro em vídeo das vias e suas áreas adjacentes é realizado por um sistema de câmeras instaladas em veículo devidamente preparado para este levantamento, registrando as informações em computador com programa apropriado. A imagem registrada da via é processada em escritório com a inserção de uma legenda, identificando a quilometragem com precisão métrica, as coordenadas geográficas e o azimute de alinhamento horizontal, a data e a hora da gravação e, na trilha sonora, comentários técnicos sobre a sinalização avaliada. Um perfilômetro a laser acoplado no veículo detecta as irregularidades na superfície da via e registra os dados no sistema computacional desenvolvido para esta finalidade. O LVC passou a ser realizado no escritório, não mais na rodovia, onde os técnicos avaliam os vídeos e as fotos e registram os defeitos no programa de computador criado especificamente para o VDR. O prazo para cobrir toda a malha de rodovias federais, cerca de 55 mil quilômetros, foi reduzido de 18 meses para 8 meses, e a um custo de R\$ 4 milhões frente aos R\$ 12 milhões gastos nas avaliações antigas.

2.5. ATIVIDADES E ESTRATÉGIAS DE M&R

A deterioração da estrutura do pavimento é um processo natural fruto das constantes solicitações de tráfego e intempéries climáticas. Esse processo é lento nas idades iniciais do pavimento, contudo acelera vertiginosamente conforme sua idade evolui. Visto isso, a fim de assegurar o investimento realizado e propiciar conforto, segurança e economia aos usuários é inevitável a aplicação de atividade de Manutenção e Reabilitação (M&R). As atividades de manutenção buscam preservar ou manter o período de projeto do pavimento, aumentando o seu ICP e evitando uma deterioração precoce. Ao passo que a reabilitação visa estender a vida de serviço do pavimento, elevando consideravelmente (próximo ao valor máximo) o ICP do pavimento e dando condições para o início de um novo ciclo de deterioração.

As manutenções preventivas serão efetuadas a fim de conter a deterioração em seu estágio inicial, rejuvenescimento da capa asfáltica (capa selante, micro revestimento ou lama asfáltica). Enquanto isso, a manutenção corretiva vem para fazer reparos localizados, remendos superficiais, impermeabilização de trincas, entre outros. Quando realizada com rotina programada, antes do agravamento dos defeitos, a

manutenção corretiva é a melhor maneira de alocar os recursos. As manutenções corretivas de remendos permanentes são mais efetivas do ponto de vista estrutural que as operações “tapa-buraco”, além do custo cerca de três vezes mais reduzido (FERNANDES JR, et al 1999).

Dentre as atividades de reabilitação mais utilizadas estão as técnicas de: fresagem, reciclagem, reforço estrutural (recapeamento estrutural) e reconstrução. A fresagem é feita para a remoção do revestimento antigo, tanto para a reciclagem quanto com fins de correção da superfície que será recapeada. A reciclagem é utilizada na renovação e rejuvenescimento de misturas asfálticas envelhecidas, voltada mais na correção de defeitos como corrugações, agregados polidos e exsudação. Enquanto isso, o reforço estrutural ou recapeamento, o qual produz uma renovação do pavimento, com a construção de uma ou mais camadas asfálticas sobre o pavimento existente, geralmente com uma camada que corrija o nível do pavimento antigo e a (s) posterior (es) com espessura uniforme. Por fim, a medida mais extrema de reabilitação é a reconstrução, executada quando o pavimento não é reabilitado a tempo e sua condição regride brevemente. Na reconstrução deverá ser tratada a drenagem do pavimento, motivo de agravamento na deterioração, e serão trabalhadas as camadas inferiores do pavimento (FERNANDES JR, et al 1999).

Serão tratadas aqui as principais causas de origem e estratégias de M&R dos defeitos mais observados ao longo das avaliações de campo em Valparaíso de Goiás.

1) Trincas por fadiga do revestimento

Causas:

- Problema estrutural (espessuras inadequadas);
- Enfraquecimento estrutural durante o período de chuvas.

Atividades de M&R:

- Manutenção: remendos (reparo permanente, no caso de problemas localizados) ou tratamento superficial e lama asfáltica (reparos temporários);
- Reabilitação: recapeamento (reforço estrutural, no caso de áreas extensas);
- Reconstrução: novos materiais ou reciclados.

Obs.: geralmente associadas à saturação do sub-leito, sub-base ou base, as trincas por fadiga podem exigir a remoção do material saturado e a instalação de drenagem.

2) Remendos

Atividades de M & R:

Obs.: o simples preenchimento de panelas é chamado de "tapa-buraco".

3) Panelas

Causas:

- Falha estrutural (revestimento com pequena espessura ou baixa capacidade de suporte das camadas inferiores);
- Segregação da mistura (falta de ligante asfáltico em pontos localizados);
- Problema construtivo (drenagem inadequada).

Atividades de M & R:

- Manutenção: remendos (reparos permanentes);
- Reabilitação: recapeamento (reforço estrutural) após a execução dos remendos.

Obs.: as atividades de M & R devem, sempre, ser precedidas de instalação ou correção de drenagem.

4) Deformação Permanente

Causas:

- Dimensionamento inadequado (espessuras insuficientes);
- Dosagem da mistura (falta de estabilidade, que resulta em deformação plástica em razão de elevado teor de ligante, excesso de material de preenchimento e uso de agregados arredondados);
- Compactação inadequada e posterior consolidação pelas cargas do tráfego;
- Cisalhamento (fluência plástica) causado por enfraquecimento em razão de infiltração de água.

Atividades de M & R:

- Reabilitação: reciclagem, recapeamento delgado (nas fases iniciais, precedido pelo preenchimento das depressões com concreto asfáltico) ou recapeamento espesso (reforço estrutural);
- Reconstrução: novos materiais ou reciclados.

5) Desgaste

Causas:

- Dosagem da mistura (falta de ligante);
- Problema construtivo (superaquecimento da mistura; falta de compactação, que resulta em envelhecimento precoce; agregados sujos, úmidos ou com pequena resistência à abrasão; segregação: com a ausência de agregados miúdos, há apenas poucos pontos de ligação entre partículas da matriz de agregados graúdos, facilitando a oxidação);
- Perda de adesividade ligante-agregado por ação de produtos químicos, água ou abrasão;
- Abertura ao tráfego antes de o ligante aderir ao agregado;
- Execução sob condições meteorológicas desfavoráveis.

Atividades de M & R:

- Manutenção: capa selante (reparo temporário), tratamento superficial ou lama asfáltica;
- Reabilitação: reciclagem ou recapeamento delgado.

6) Agregados Polidos

Causas:

- Ação abrasiva do tráfego, que elimina as asperezas e angularidades das partículas;
- Seleção dos materiais (agregados com pequena resistência à abrasão, como por exemplo, agregados de rochas calcárias).

Atividades de M & R:

- Manutenção: tratamento superficial ou lama asfáltica
- Reabilitação: reciclagem ou recapeamento delgado
- Reconstrução: novos materiais ou reciclados

2.6. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

A avaliação da capacidade estrutural permite estimar a capacidade de carga para uma estrutura de pavimento e sua vida útil perante certas condições de tráfego. Seu principal parâmetro é a obtenção da deflexão do pavimento simbolizada pela resposta das camadas estruturais e do subleito mediante a aplicação de ciclos de carga. Ao sofrer influência de uma carga aplicada em um ponto da superfície desse pavimento, ocorre a flexão conjunta de todas as camadas devido às tensões e às deformações geradas pelo carregamento. Há uma relação direta entre a qualidade ou saúde estrutural de um pavimento e o nível de flexão ao qual ele será submetido, corroborando na afirmativa de que pavimentos em bom estado de conservação são habilitados a servir por mais tempo. Logo, pavimentos com deflexões menores, suportam um valor mais elevado de solicitações de tráfego (DNER, 1998).

Para tal, é importante conhecer as características dos materiais componentes do pavimento por meio de ensaios. Entre os ensaios de análise mais comuns estão os de método destrutivo, como extração do corpo de prova do pavimento, abertura de trincheiras ou criação de poços de sondagem; além destes, realizam-se ensaios com menos impacto para o pavimento, os não destrutivos, entre eles o de Viga Benkelman e o FWD- *Falling Weight Deflectometer*.

A ilustração a seguir, Figura 2.17, exemplifica a deformação gerada sob os pavimentos devida a sucessiva aplicação de cargas na superfície, efeito denominado bacia de deflexão.

Por meio da figura é possível inferir que as deformações se propagam e redistribuem ao longo das camadas da via em grau decrescente de intensidade, isto é, a maior deflexão ocorre na camada superficial do revestimento. Isso se deve ao fato da faixa de revestimento do pavimento flexível ou rígido ser a mais resiliente (elástica) da estrutura e, portanto, o parâmetro de deformação d_0 indica a deflexão máxima da estrutura.

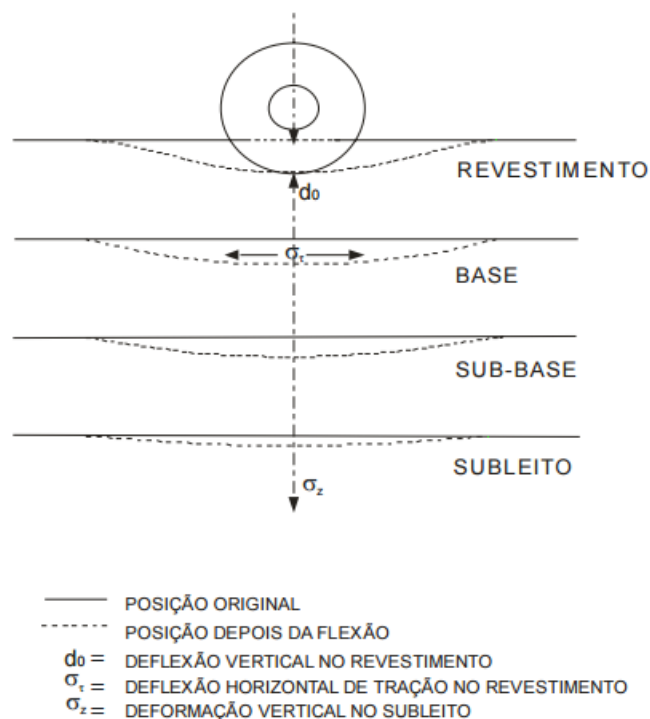


Figura 2.17- Deformações no pavimento ou deflexões (DNIT, 2006).

O desempenho estrutural de um pavimento é diretamente afetado por sua condição física, isto é, deformações permanentes, irregularidades longitudinais, trincas das mais variadas formas, entre outras anomalias cuja a indicação seria Manutenção e Restauração (M&R). O manual do DNIT (2006) orienta regularização das condições do pavimento, por meio de reforço ou restauração, se houver por exemplo:

- trincamento por fadiga > 20% área; ou
- afundamento das trilhas de roda > 1,2 cm.

Recomenda-se a intervenção por métodos não destrutivos no trecho afetado, pois, após elaborado o inventário de defeitos, além do fator tempo ser favorável, também tem-se uma atuação menos invasiva, e capaz de simular bem as situações de campo. A viga Benkelman, observada na figura 2.18, é o aparelho mais difundido para levantamento de deflexões do pavimento em campo. Sua análise permite o conhecimento do comportamento da estrutura quando submetido a um carregamento estático ou a aplicação de uma carga dinâmica com baixa velocidade (DNIT, 2006).

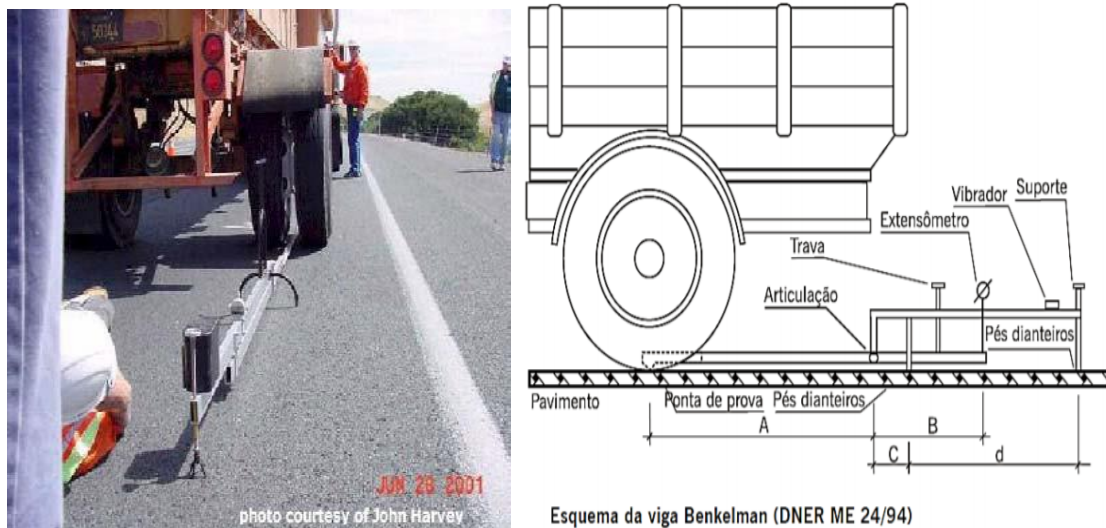


Figura 2.18 – Viga Benkelman sob teste de deflexão
(World Bank, 2007;DNER – ME 24/94)

O *Falling Weight Deflectometer* – FWD, como o próprio nome indica, atua como deflectômetro por impacto onde uma carga sofre uma queda de altura pré-estabelecida e um sistema transmite-as por molas para uma placa em contato com a superfície da via, simulando o efeito da passagem de uma roda em movimento, e sensores de deslocamento postos sobre um suporte captam uma linha de deflexão (ASTM D4695). O equipamento é automatizado e vai acoplado a um veículo utilitário leve ligado ao sistema por um computador que emite a análise. O FWD é vantajoso com relação ao teste da viga Benkelman por permitir uma margem variável de aplicações de carga, mais acurácia nas medições, ensaio não influenciado por operador, uma melhor produtividade. Todavia, o ensaio torna-se mais complicado pois carece de investimento mais elevado e exige calibragem constante. Por meio dos dados obtidos relativos à bacia deflectométrica é possível estimar os módulos de elasticidade das camadas do pavimento, facilitando o cálculo de um futuro reforço estrutural. A figura 2.19 a seguir traz um esquema do equipamento.

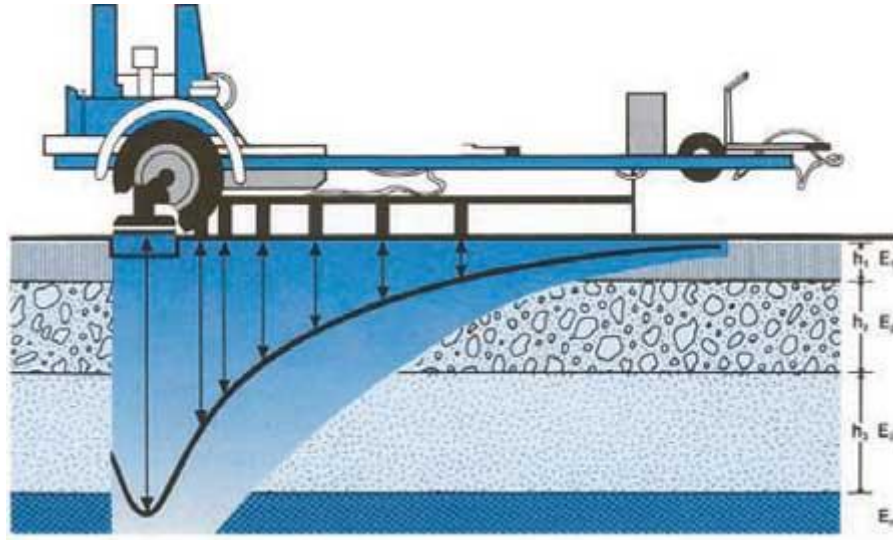


Figura 2.19 – Vista de perfil do equipamento FWD

(Fonte: <https://www.clrp.cornell.edu>)

2.7. AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA

A avaliação de segurança orienta-se pela quantificação da resistência à derrapagem (ou aderência superficial), o potencial de hidroplanagem, presença de sulcos (relacionada ao acúmulo de água), além de reflexão luminosa na superfície do pavimento (HAAS, *et al.*, 1994). A resistência à derrapagem é quantificada pelo coeficiente de fricção (f), o qual correlaciona resistência à fricção (F) e a carga aplicada perpendicularmente ao pavimento (P).

$$f = \frac{F}{P} \quad \text{Eq (2.7)}$$

No ASTM 1960-1998 – “*Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface*”, estabelece que a medida de resistência à derrapagem deve ser obtida em condições padronizadas, e adotou-se o termo “número de derrapagem – SN” (*skid numbers*).

$$SN = 100f \quad \text{Eq (2.8)}$$

Segundo o manual do DNIT (2011), o potencial de hidroplanagem existe sempre que a lâmina d’água sobre o pavimento for maior do que 5 mm, e a velocidade for igual ou maior do que a prevista (função obtida conforme a pressão dos pneus).

Alguns métodos de ensaio são difundidos para obtenção de valores de micro e macrotextura dos pavimentos analisados, destacando-se o Pêndulo Britânico para as

análises da estrutura micro e o teste da mancha de areia na determinação da parte macro. Desenvolvido na década de 1950 pelo *Transport and Road Research Laboratory* (TRRL), o “Pêndulo britânico” destaca-se por sua agilidade e facilidade em aplicar o ensaio devido o equipamento ser portátil, apesar de não ser recomendado para uso em nível de rede pois suas medições são pontuais. O aparelho realiza a medição local do coeficiente de atrito longitudinal cinemático por meio da avaliação da energia absorvida pelo atrito. Seu funcionamento consiste na perda de energia do pêndulo com base emborrachada ao deslizar sobre o pavimento (simulando a passagem do pneu do veículo a baixas velocidades sobre o pavimento molhado) e pode ser utilizado tanto em campo quanto em laboratório (MATTOS, 2009).

De origem francesa, o ensaio da “Mancha de Areia” determina a macrotextura do pavimento utilizando a altura da mancha de areia e, semelhante ao teste do “Pêndulo britânico”, suas medições são pontuais. A procedimento destaca-se pela repetição dos resultados mesmo com a mudança de operadores. O ensaio consiste numa técnica volumétrica de preenchimento dos vazios da superfície de rolamento por meio do material granular areia o qual deve passar pela peneira #50 (0,300 mm) e ficar retido na peneira #100 (0,150 mm). O volume pré-estabelecido de 25.000 mm³ de areia é despejado sobre o pavimento e com a área obtida (próxima à forma circular) e uma altura média de mancha (HS) é observada após o assentamento dos grãos nos espaços vazios (MATTOS, 2009). Essa altura HS é calculada pela equação 2.10.

$$HS = \frac{4*V}{\pi*D^2} \quad \text{Eq (2.10)}$$

Onde:

HS = altura média da areia (mm);

V = volume de areia (mm³);

D = diâmetro médio da mancha (mm).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O método a ser utilizado para a obtenção dos objetivos fará a comparação da acurácia e precisão na obtenção de dados em campo da condição de superfície dos pavimentos flexíveis, quando obtidos pelo tradicional método do caminhamento e por vídeo registro em diferentes velocidades de tráfego do veículo teste. Todos os segmentos analisados pelo método do caminhamento foram posteriormente avaliados pelo método de vídeo registro.

A pesquisa fará uso do modelo de planilha de dados empregada pela Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (Novacap) na elaboração do seu Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU). A Novacap é a empresa responsável pela pavimentação das vias da área urbana do Distrito Federal e apesar das avaliações de campo serem realizadas em Valparaíso de Goiás – GO, município de fronteira com o Distrito Federal e integrante da RIDE, não haverá impedimento do emprego do material já consolidado pela Novacap. Os defeitos de superfície dos pavimentos abordados na planilha são aqueles presentes no Manual de Identificação de Defeitos do *Strategic Highway Research Program* (SHRP), descritos no Adendo 1. Mais a frente será apresentada a planilha de avaliação da condição da seção, Figura 3.1, no item de “Avaliação de campo por caminhamento” a fim de corroborar na descrição do método.

O presente estudo dará enfoque ao ICP objetivo registrado na avaliação pelo método de caminhamento, a fim de compará-lo com o ICP objetivo encontrado por meio da análise de vídeo registro. O intuito com isso é produzir avaliações menos dependentes do avaliador e reduzir sua subjetividade. Com treinamentos e avaliações constantes é possível implementar metodologias que promovam uma padronização dos critérios usados pelos avaliadores. Devido à incerteza em manter a mesma equipe de examinadores, é imprescindível promover métodos com critérios simples e padronizar a avaliação objetiva, possibilitando a redução no período de treinamento e efetividade no aprendizado de um novo avaliador que possa produzir informações e dados confiáveis aos tomadores de decisão (ZANCHETTA, 2017).

3.1. LOCAL DE ESTUDO

A cidade de Valparaíso de Goiás – GO foi adotada como o local do estudo, entre um dos fatores, por possuir características urbanas vantajosas na divisão da malha viária, como segmentos de ruas bem definidos com esquinas demarcadas e não afastadas mais de 300m. Além disso, o projeto integra parte de uma pesquisa em andamento proposta em edital universal do CNPq, em busca de analisar e propor uma metodologia de avaliação de pavimentos para implementação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU). O município faz fronteira com o Distrito Federal (DF) e é componente da Região Integrada de Desenvolvimento (RIDE-DF) do Distrito Federal e Entorno tem área de 61,5 km² e população de 165 mil habitantes, segundo a última estimativa do IBGE realizada em 2018.

3.2. AVALIAÇÃO EM CAMPO POR CAMINHAMENTO

A avaliação em campo por caminhamento foi realizada por dois avaliadores, um aluno de graduação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília (UnB) e um professor do departamento com experiência na área. Previamente foi realizado um treinamento orientado pelo docente a fim de conferir noções relativas aos critérios de avaliação.

Consiste em uma forma de avaliação superficial do pavimento segundo defeitos presentes em cada seção delimitada, na qual são considerados todos as patologias relatados pelo Manual SHRP (2003). O SHRP possui uma ampla abordagem quanto a caracterização dos defeitos do pavimento, processos que acarretam o seu surgimento e atividades de M&R indicadas para cada caso. O presente método leva a campo os avaliadores e é voltado para a análise da malha viária em zonas urbanas, definindo os segmentos de rua que serão percorridos antes de iniciar o caminhamento. É realizado o reconhecimento dos defeitos, grau de severidade (Baixa, Média e Alta) e extensão de cada conjunto de defeitos (considerando o percentual da área do segmento afetada).

Nos Estados Unidos, o departamento de transporte do estado de Washington (WSDOT) realiza um treinamento com seus avaliadores de uma semana, a fim de

conferir mais consistência nos dados obtidos pelos diferentes examinadores. Segundo o WSDOT, é recomendável: buscar segmentos de pista curtos o suficiente para que a extensão dos defeitos possa ser estimada com relação à área total; apenas defeitos com severidade suficiente para serem observados em condições de campo díspares (com ou sem chuva, a pé ou dentro do veículo); reduzir o número de categorias de severidade e extensão; o SGP padrão deve usar dados padronizados os quais permitam a verificação de sua validade à posteriori.

A avaliação confere um valor inicial de 100 pontos, simulando um pavimento sem imperfeições e com excelente condição de tráfego, e conforme os defeitos com suas respectivas extensões e severidades são observados a pontuação será reduzida. São dedutíveis de 0 a 10 pontos por categoria de defeito observado, sendo que quanto maior a gravidade e extensão do dano maior será o desconto numérico. Ao fim da avaliação, é realizado o somatório de todos os pontos descontados do parâmetro inicial e a nota corresponderá ao Índice de Condição do Pavimento (ICP) Objetivo.

$$ICP_{Objetivo} = 100 - \sum \text{pontos descontados por defeito} \text{ (eq. 3.1)}$$

Com a avaliação objetiva terminada o avaliador confere uma nota subjetiva para a seção estudada, procedimento realizado desde o *AASHO Road Test* e que atuou como um dos modelos no avanço do SGP com o passar das décadas. O ICP Subjetivo deve ser comparado ao calculado objetivamente, a fim de aprimorar o último e formular ponderações de atribuição de pontos mais efetivas na dedução da nota do ICP Objetivo. Para Zanchetta (2005), as notas subjetivas apresentam correlação melhor do que as aferidas de modo objetivo, indicando a necessidade de aprimorar o método mais recente. Mediante o ICP Subjetivo há ainda a qualificação do pavimento entre cinco categorias, variando de: muito ruim (0 a 30), ruim (30 a 50), regular (50 a 70), bom (70 a 90) e muito bom (90 a 100).

A figura 3.1 traz a ficha de avaliação da condição da seção, com espaço para identificação da respectiva seção, data de avaliação em campo e quem foi o avaliador, além de um campo para observações relevantes quanto ao procedimento de análise. A primeira coluna da tabela evidencia os 15 defeitos de superfície do pavimento descritos no SHRP e ao lado podem ser vistos os três graus de severidade (Baixo,

Médio e Alto). Na última coluna serão anotados os pontos a serem descontados para os respectivos defeitos observados. O ICP Objetivo deverá ser registrado ao lado do ICP Subjetivo. E conforme o resultado da avaliação o autor poderá indicar o tipo de Manutenção e Reabilitação (M&R) que julgar necessário: nada a fazer (NF), manutenção corretiva (MC), manutenção preventiva (MP), reforço estrutural (RF), reconstrução (RC).

AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DA SEÇÃO				
Segmento de Pista:	Data Avaliação:	Pontos Dedutíveis		
		BOA	1 a 3 Pontos	
		REGULAR	4 a 6 Pontos	
		RUIM	7 a 10 Pontos	
TIPO DE DEFEITO	SEVERIDADE			Pontos Dedutíveis 0 - 10
	Baixa	Média	Alta	
1. Trincas por Fadiga (m ²)				
2. Trincas em Blocos (m ²)				
3. Defeitos nos Bordos (m)				
4. Trincas Longitudinais (m)				
5. Trincas por Reflexão (m ²)				
6. Trincas Transversais (m)				
7. Remendos (m ²)				
8. Painelas (m ²)				
9. Deformação permanente (m ²)				
10. Corrugação (m ²)				
11. Exsudação (m ²)				
12. Agregados Polidos (m ²)				
13. Desgaste (%)				
14. Desnível Pista Acostamento (m)				
15. Bombeamento (m ²)				

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ICP Subjetivo:
Muito Ruim 0 a 30	Ruim 30 a 50	Regular 50 a 70	Bom 70 a 90	Muito Bom 90 a 100	
Aceitável: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		M & R Prevista: <input type="checkbox"/> NF <input type="checkbox"/> MC <input type="checkbox"/> MP <input type="checkbox"/> RF <input type="checkbox"/> RC			
Observações:					
Avaliação Compl.: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		Responsável:			

Figura 3.1 – Planilha de avaliação da condição da seção. (Fonte: Zanchetta, 2017)

3.3. AVALIAÇÃO EM CAMPO POR VÍDEO REGISTRO

O método do vídeo registro será empregado com o veículo de teste trafegando nos trechos selecionados pelos avaliadores nas velocidades médias de 20 km/h, 30km/h e 40km/h, utilizando como material uma câmera GoPro presa a frente do carro por um suporte fixo. As filmagens dos segmentos de ruas foram realizadas na resolução de 4K, e armazenadas no cartão de memória da câmera para posteriormente passar os arquivos de vídeo para o computador dos avaliadores.

Optou-se por avaliar 78 segmentos de vias urbanas localizados na cidade de Valparaíso - GO entre os bairros de Jardim Oriente, Novo Jardim Oriente e Morada Nobre. A seleção desses segmentos deveu-se ao seu sequenciamento e rota de fácil acesso, além de sua continuidade, devido ao fato de abranger vias com ICPs diversos e com amplitude considerável e pela vasta gama de defeitos os quais foram observados pelo método de caminhamento e trariam uma discussão interessante na avaliação por vídeo registro.

Foram estabelecidos três percursos para a avaliação de vídeo registro, descritos nas tabelas 3.1 a 3.3, os quais foram seccionados e filmados em cinco vídeos. O primeiro e terceiro percursos foram filmados em duas partes cada, enquanto o segundo percurso registrado em apenas um vídeo mais longo. A figura 3.2 retirada por captura de tela do Google Maps mostra os três percursos de avaliação realizados por vídeo registro.

Em ambiente isolado, como um escritório com computador, os materiais de vídeo obtidos são avaliados. Empregando a mesma planilha, figura 3.1, da avaliação do Método de Caminhamento os defeitos da superfície do pavimento dos trechos inventariados no estudo são computados quanto à sua extensão e grau de severidade. Devido a dificuldade em aferir precisamente percentuais de área ou extensão da via afetadas por um defeito qualquer em análise por meio de vídeo registro, as escalas são pontuadas de 5% em 5% da área total. Isto é, caso um defeito observado corresponda a uma diminuta área, e não seja possível com precisão afirmar que ele afete menos do que 5% da área da via, a título de registro ele será computado na planilha como presente em 5% da área do segmento e será atribuída uma nota pelo

avaliador do vídeo registro seguindo o mesmo critério da avaliação por caminhamento.

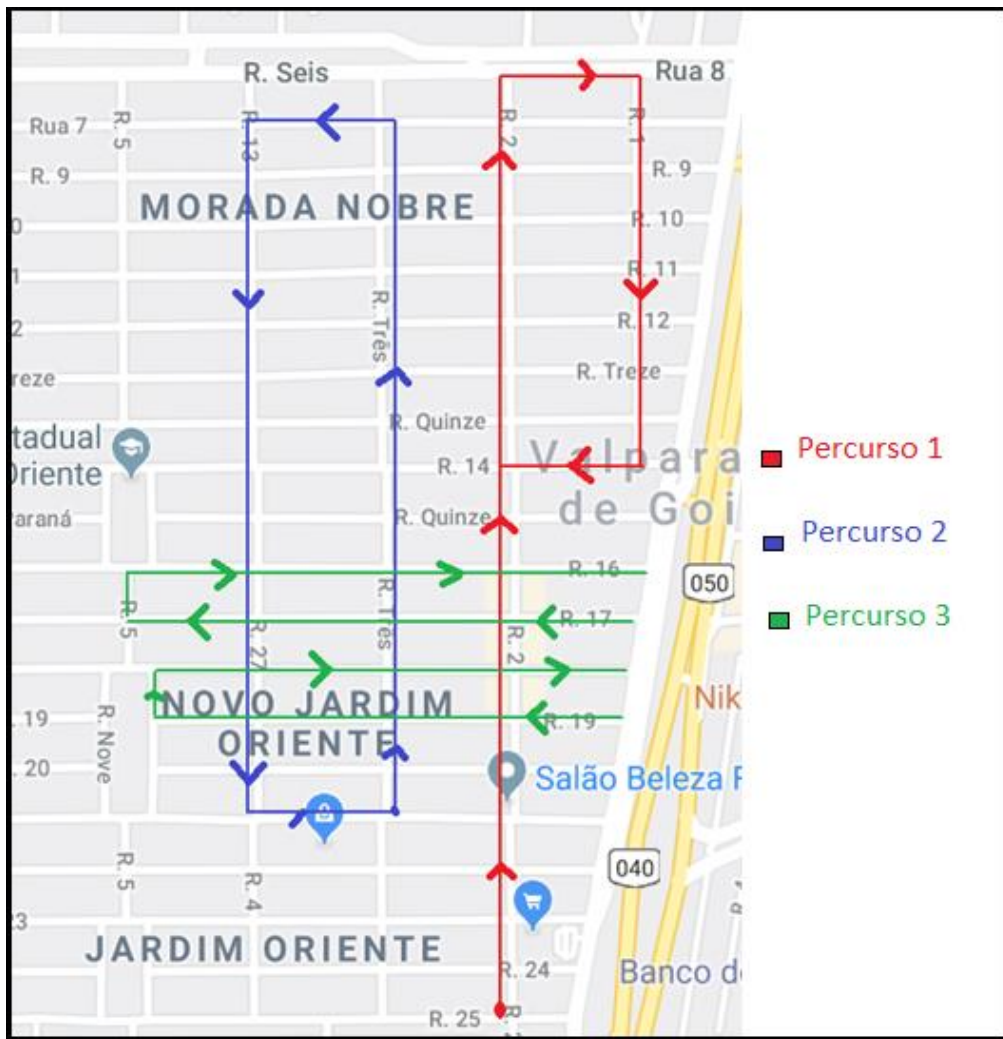


Figura 3.2 – Rotas dos três percursos (Fonte: Google Maps, 2019)

Tabela 3.1 – Identificação dos 30 segmentos do Percurso 1
registrados nos vídeos 1 e 2 (Fonte: autor)

Vídeo	Segmento	Identificação	Vídeo	Segmento	Identificação
1	1	Rua 2 c/ esq. rua 25	1	16	Rua 2 c/ esq. rua 10
1	2	Rua 2 c/ esq. rua 24	1	17	Rua 2 c/ esq. rua 9
1	3	Rua 2 c/ esq. rua 23	1	18	Rua 2 c/ esq. rua 8
1	4	Rua 2 c/ esq. rua 22	1	19	Rua 2 c/ esq. rua 7
1	5	Rua 2 c/ esq. rua 21	1	20	Rua 2 c/ esq. rua 6
1	6	Rua 2 c/ esq. rua 20	1	21	Rua 6 c/ esq. rua 2
1	7	Rua 2 c/ esq. rua 19	2	22	Rua 1 c/ esq. Rua 6
1	8	Rua 2 c/ esq. rua 18	2	23	Rua 1 c/ esq. Rua 7
1	9	Rua 2 c/ esq. rua 17	2	24	Rua 1 c/ esq. Rua 8
1	10	Rua 2 c/ esq. rua 16	2	25	Rua 1 c/ esq. Rua 9
1	11	Rua 2 c/ esq. rua 15	2	26	Rua 1 c/ esq. Rua 10
1	12	Rua 2 c/ esq. rua 14	2	27	Rua 1 c/ esq. Rua 11
1	13	Rua 2 c/ esq. rua 13	2	28	Rua 1 c/ esq. Rua 12
1	14	Rua 2 c/ esq. rua 12	2	29	Rua 1 c/ esq. Rua 13
1	15	Rua 2 c/ esq. rua 11	2	30	Rua 14 c/ esq. Rua 1

Tabela 3.2 – Identificação dos 30 segmentos do Percurso 2
registrados no vídeo 3 (Fonte: autor)

Vídeo	Segmento	Identificação	Vídeo	Segmento	Identificação
3	31	Rua 3 c/ esq. Rua	3	46	Rua 13 c/ esq. Rua 7
3	32	Rua 3 c/ esq. Rua	3	47	Rua 13 c/ esq. Rua 8
3	33	Rua 3 c/ esq. Rua	3	48	Rua 13 c/ esq. Rua 9
3	34	Rua 3 c/ esq. Rua	3	49	Rua 13 c/ esq. Rua
3	35	Rua 3 c/ esq. Rua	3	50	Rua 13 c/ esq. Rua
3	36	Rua 3 c/ esq. Rua	3	51	Rua 13 c/ esq. Rua
3	37	Rua 3 c/ esq. Rua	3	52	Rua 13 c/ esq. Rua
3	38	Rua 3 c/ esq. Rua	3	53	Rua 13 c/ esq. Rua
3	39	Rua 3 c/ esq. Rua	3	54	Rua 27 c/ esq. Rua
3	40	Rua 3 c/ esq. Rua	3	55	Rua 27 c/ esq. Rua
3	41	Rua 3 c/ esq. Rua	3	56	Rua 27 c/ esq. Rua
3	42	Rua 3 c/ esq. Rua	3	57	Rua 27 c/ esq. Rua
3	43	Rua 3 c/ esq. Rua 9	3	58	Rua 27 c/ esq. Rua
3	44	Rua 3 c/ esq. Rua 8	3	59	Rua 27 c/ esq. Rua
3	45	Rua 7 c/ esq. Rua 3	3	60	Rua 21 c/ esq. Rua

Tabela 3.3 – Identificação dos 18 segmentos do Percurso 3 registrados nos vídeo 4 e 5 (Fonte: autor)

Vídeo	Segmento	Identificação	Vídeo	Segmento	Identificação
4	61	Rua 19 c/ a	5	70	Rua 17 c/
4	62	Rua 19 c/ R.2	5	71	Rua 17 c/ rua 2
4	63	Rua 19 c/ R. 3	5	72	Rua 17 c/ rua 3
4	64	Rua 19 c/ R.27	5	73	Rua 17 c/ rua 27
4	65	Rua 10	5	74	Rua 5
4	66	Rua 18 c/ Rua 10	5	75	Rua 16 c/ rua 5
4	67	Rua 18 c/ Rua 27	5	76	Rua 16 c/ rua 27
4	68	Rua 18 c/ rua 3	5	77	Rua 16 c/ rua 3
4	69	Rua 18 c/ rua 2	5	78	Rua 16 c/ rua 27

Espera-se que o método de vídeo registro possua importância quanto a validação do levantamento realizado por caminhamento e para realização de diagnósticos das condições de superfície dos pavimentos. A fim de confirmar essa hipótese é necessário aferir o nível de confiança entre o método de vídeo registro e o método do caminhamento, e averiguar se há mudança na percepção e identificação visual dos defeitos com o crescimento gradual da velocidade de teste, e a interferência da progressão da velocidade na acurácia e precisão se comparado ao método do caminhamento. O histórico de filmagens do pavimento também é útil para o desenvolvimento de estudos de previsão de desempenho dos pavimentos. As figuras 3.3 e 3.4 retratam o veículo e a câmera usados para realização das avaliações por vídeo registro, e as figuras 3.5 a 3.7 mostram a visão dos defeitos a partir das filmagens obtidas.



Figura 3.3 – Câmera GoPro instalada no veículo de avaliação

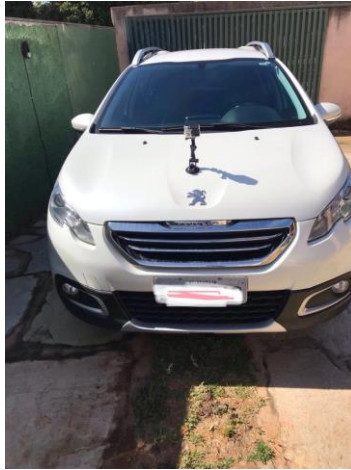


Figura 3.3 – Veículo utilizado para a avaliação por vídeo registro



Figura 3.4 – Segmento com identificação de painelas e trincas



Figura 3.4 – Segmento com presença de trincas

3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Aplicar o Teste de Hipótese nos resultados gerados em campo e verificar se são ou não compatíveis os grupamentos de dados adquiridos. Para isso será testado se o método de avaliação por caminhada gera um ICP objetivo com uma diferença significativa em relação ao ICP objetivo encontrado por vídeo registro, adotando um nível de confiança 95% para um $(n-1)$ graus de liberdade, onde n corresponde ao número de pares de dados combinados, e nível de significância (α) de 5%. O procedimento básico para um teste de hipótese consiste em quatro etapas:

i) Definir hipóteses:

Fixado H_0 : ICP objetivo encontrado pela avaliação por caminhada = ICP objetivo encontrado por vídeo registro, a hipótese alternativa pode atuar das três formas abaixo:

- H_1 : avaliação do ICP objetivo por caminhada \neq ICP objetivo por vídeo registro (teste bilateral);
- H_1 : avaliação do ICP objetivo por caminhada $>$ ICP objetivo por vídeo registro (teste unilateral à direita);
- H_1 : avaliação do ICP objetivo por caminhada $<$ ICP objetivo por vídeo registro (teste unilateral à esquerda).

Uma vez provada a inverossimilhança de H_0 diante de elevada probabilidade, o teste suporta a validade de H_1 . Contudo, caso não se rejeite a hipótese nula, a alternativa não deverá ser reforçada.

ii) Identificação da estatística de teste e caracterizar sua distribuição:

Para que a decisão seja tomada de forma controlada deve-se fixar previamente o valor a partir do qual é considerada improvável a validade da hipótese nula. Essa fixação do valor é chamada de regra de decisão para o teste, a formalização do conceito depende da definição da região de rejeição, apresentada na figura 3.3 no teste unilateral à direita.

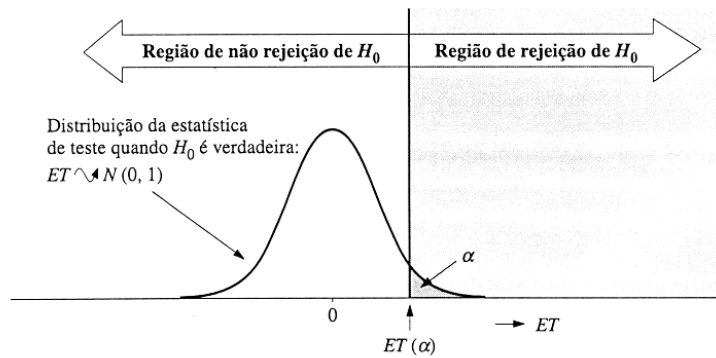


Figura 3.3 – Região de rejeição de H_0 (teste unilateral à direita).

- iii) Definir regra de decisão, com especificação do nível de significância do teste:

O nível de significância do teste é expresso pela probabilidade α de, caso H_0 seja verdadeiro, a estatística teste (ET) pertence à região de rejeição. Ele representa a probabilidade de cometer erro ao rejeitar a hipótese inicial, quando ela é de fato verdadeira, sendo tal erro α designado como de tipo I. O valor adotado para a presente análise será de $\alpha = 5\%$. Na imagem 3.4 a seguir é sugerido um teste bilateral, diferentemente do primeiro, com a região de rejeição dividida entre as duas caudas da curva, para avaliação de H_0 : avaliação por caminhada = vídeo registro e H_1 : avaliação por caminhada \neq vídeo registro.

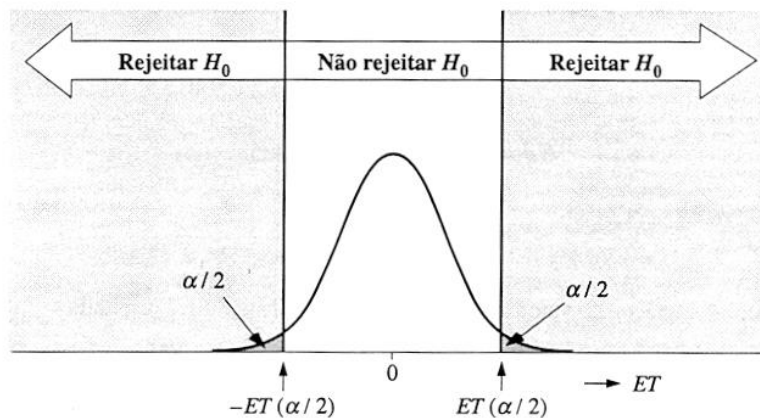


Figura 3.4 – Região de rejeição de H_0 (teste bilateral)

- iv) Cálculo da estatística de teste e tomada de decisão.

O valor de prova constitui uma medida do grau com que os dados amostras contestam a H_0 , ou seja, é a probabilidade da ET ter um valor igual ou mais extremo do que o observado de fato e seu cálculo assume a H_0 como verdadeira. Portanto, quanto menor

o valor de prova, maior será o grau de contestação da hipótese nula pelos dados iniciais. Caso H_0 seja falsa e não seja rejeitada ocorre o erro do tipo II, onde a probabilidade β define a aceitação da hipótese nula apesar da hipótese alternativa ser a verdadeira. Neste caso, define-se como potência do teste o valor dado por $1 - \beta$. A tabela 3.4 traz a relação entre a aceitação e rejeição da hipótese nula, para o caso de ser verdadeira ou se for falsa.

Tabela 3.4 – Decisões do teste de Hipótese

	Decisão do teste	
	Aceita H_0	Rejeita H_0
H_0 verdadeira	decisão correta ($P = 1 - \alpha$)	erro tipo I ($P = \alpha$)
H_0 falsa	erro tipo II ($P = \beta$)	decisão correta ($P = 1 - \beta$)

Para distribuição dos dados do teste de hipótese será aplicado o teste t de *Student* devido sua simplicidade e disseminação no meio científico, aplicando-o na análise da dispersão significativa entre as médias dos ICPs objetivos das amostras adquiridas pelo método do caminhamento e por vídeo registro. Avaliando as médias globais de dados proporcionadas pelos métodos de avaliação da condição funcional do pavimento. Por fim, será observada a correlação entre os dados de ICP objetivo dos dois modos de avaliação e traçar um gráfico de dispersão para averiguar qual o coeficiente de correlação (R) e qual o coeficiente de determinação (R^2) das amostras quando pegadas par a par.

4. RESULTADOS

A pesquisa trouxe uma série de dados e análises com respeito às avaliações de campo realizadas pelo método do caminhamento e por vídeo registro. Os resultados serão apresentados em três partes. A primeira abordará a análise feita pelo método do caminhamento, a segunda trará as observações relativas ao método de vídeo registro e por fim, a última etapa consiste na discussão comparativa entre os métodos.

4.1. RESULTADOS DA AVALIAÇÃO POR CAMINHAMENTO

A avaliação por caminhamento foi executada por dois avaliadores de maneira separada. Antes de começá-la foram divididos três grandes trajetos, conforme exposto na Figura 3.2. As tabelas 4.1 e 4.2 trazem os 78 segmentos identificados quanto a localização e relacionados aos seus avaliadores, sendo que o avaliador A percorreu 30 segmentos de rua e o avaliador B assumiu os outros 48 segmentos. O procedimento ocorreu em dois dias, ao longo da tarde. Os caminhamentos decorreram por cerca de 2 horas a 3 horas de duração, com tempo médio de avaliação dos segmentos variando entre 4 a 6 minutos. O percurso realizado pelo avaliador A corresponde ao percurso 1 filmado em vídeo registro e correspondente aos “Vídeo 1” e “Vídeo 2”. Enquanto o trajeto percorrido pelo avaliador B reflete os percursos 2 e 3, posteriormente registrados nos “Vídeo 3” a “Vídeo 5”.

Tabela 4.1 – Segmentos percorridos pelo avaliador A (Fonte: autor)

Segmento	Identificação	Segmento	Identificação
1	Rua 2 c/ esq. rua 25	16	Rua 2 c/ esq. rua 10
2	Rua 2 c/ esq. rua 24	17	Rua 2 c/ esq. rua 9
3	Rua 2 c/ esq. rua 23	18	Rua 2 c/ esq. rua 8
4	Rua 2 c/ esq. rua 22	19	Rua 2 c/ esq. rua 7
5	Rua 2 c/ esq. rua 21	20	Rua 2 c/ esq. rua 6
6	Rua 2 c/ esq. rua 20	21	Rua 6 c/ esq. rua 2
7	Rua 2 c/ esq. rua 19	22	Rua 1 c/ esq. Rua 6
8	Rua 2 c/ esq. rua 18	23	Rua 1 c/ esq. Rua 7
9	Rua 2 c/ esq. rua 17	24	Rua 1 c/ esq. Rua 8
10	Rua 2 c/ esq. rua 16	25	Rua 1 c/ esq. Rua 9
11	Rua 2 c/ esq. rua 15	26	Rua 1 c/ esq. Rua 10
12	Rua 2 c/ esq. rua 14	27	Rua 1 c/ esq. Rua 11
13	Rua 2 c/ esq. rua 13	28	Rua 1 c/ esq. Rua 12
14	Rua 2 c/ esq. rua 12	29	Rua 1 c/ esq. Rua 13
15	Rua 2 c/ esq. rua 11	30	Rua 14 c/ esq. Rua 1

Tabela 4.2 – Segmentos percorridos pelo avaliador B (Fonte: autor)

Segmento	Identificação	Segmento	Identificação	Segmento	Identificação
31	Rua 3 c/ esq. Rua 21	47	Rua 13 c/ esq. Rua 8	63	Rua 19 c/ R. 3
32	Rua 3 c/ esq. Rua 20	48	Rua 13 c/ esq. Rua 9	64	Rua 19 c/ R.27
33	Rua 3 c/ esq. Rua 19	49	Rua 13 c/ esq. Rua 10	65	Rua 10
34	Rua 3 c/ esq. Rua 18	50	Rua 13 c/ esq. Rua 11	66	Rua 18 c/ Rua 10
35	Rua 3 c/ esq. Rua 17	51	Rua 13 c/ esq. Rua 12	67	Rua 18 c/ Rua 27
36	Rua 3 c/ esq. Rua 16	52	Rua 13 c/ esq. Rua 13	68	Rua 18 c/ rua 3
37	Rua 3 c/ esq. Rua 15	53	Rua 13 c/ esq. Rua 14	69	Rua 18 c/ rua 2
38	Rua 3 c/ esq. Rua 14	54	Rua 27 c/ esq. Rua 15	70	Rua 17 c/ comercial
39	Rua 3 c/ esq. Rua 13	55	Rua 27 c/ esq. Rua 16	71	Rua 17 c/ rua 2
40	Rua 3 c/ esq. Rua 12	56	Rua 27 c/ esq. Rua 17	72	Rua 17 c/ rua 3
41	Rua 3 c/ esq. Rua 11	57	Rua 27 c/ esq. Rua 18	73	Rua 17 c/ rua 27
42	Rua 3 c/ esq. Rua 10	58	Rua 27 c/ esq. Rua 19	74	Rua 5
43	Rua 3 c/ esq. Rua 9	59	Rua 27 c/ esq. Rua 20	75	Rua 16 c/ rua 5
44	Rua 3 c/ esq. Rua 8	60	Rua 21 c/ esq. Rua 27	76	Rua 16 c/ rua 27
45	Rua 7 c/ esq. Rua 3	61	Rua 19 c/ a comercial	77	Rua 16 c/ rua 3
46	Rua 13 c/ esq. Rua 7	62	Rua 19 c/ R.2	78	Rua 16 c/ rua 27

A avaliação de campo pelo método do caminhamento mostrou uma elevada variação nas condições de qualidade dos segmentos de vias da região de estudo. O percurso 1 feito pelo avaliador A obteve uma elevada média dos ICPs objetivos de 93,6 e os percursos 2 e 3 avaliados pelo examinador B obtiveram respectivamente, médias de ICP objetivo de 84,8 e 79,2. Uma notação direta desse diferencial nas condições superficiais dos pavimentos foi a diferença discrepante de tempo de avaliação entre os avaliadores, com o percurso 1 levando cerca de duas horas para ser concluído enquanto o percurso 2, percorrido na mesma tarde de avaliações, necessitou de praticamente três horas para ser avaliado. Além disso, notou-se que o percurso 1 sofreu recapeamento de uma capa asfáltica pouco espessa há pouco tempo, justificando o ICP médio mais elevado. A tabela 4.3 traz as indicações de todos segmentos estudados e os respectivos ICP objetivos encontrados por meio da análise por caminhamento.

Tabela 4.3 - Valores calculados de ICP objetivo referentes ao caminhamento
(Fonte: autor).

Segmento	ICP objetivo	Segmento	ICP objetivo	Segmento	ICP objetivo
1	81	27	98	53	91
2	84	28	95	54	73
3	82	29	98	55	77
4	93	30	81	56	87
5	96	31	84	57	81
6	95	32	76	58	87
7	98	33	77	59	86
8	96	34	76	60	83
9	96	35	85	61	89
10	98	36	79	62	89
11	90	37	85	63	69
12	92	38	83	64	79
13	92	39	87	65	78
14	89	40	88	66	72
15	93	41	87	67	73
16	97	42	88	68	74
17	93	43	85	69	91
18	93	44	88	70	78
19	98	45	85	71	78
20	96	46	87	72	76
21	98	47	89	73	80
22	97	48	90	74	78
23	98	49	88	75	77
24	94	50	90	76	82
25	98	51	91	77	79
26	98	52	91	78	84

Com respeito às inferências de estatística descritiva que podem ser obtidas dos valores resultantes de ICP objetivo, calculou-se as medidas de tendência central: média, mínimo e máximo, moda, mediana, 1º e 3º quartil. E ainda, medidas de dispersão, como: amplitude, desvio padrão, variância e coeficiente de variação. A tabela 4.4 traz os valores estatísticos encontrados para as medidas de tendência central, e a tabela 4.5 mostra os valores de dispersão. Feita a análise dos números é possível inferir que em média o pavimento analisado possui boa qualidade com uma nota média de ICP objetivo igual a 86,9 e que há uma grande amplitude entre as amostras de variável mínima e máxima. Verificando os quartis conclui-se que os 25% menores valores de ICP objetivo são menores ou iguais a 81 pontos, e que 75% das amostras possui valor equivalente ou inferior a 93 pontos.

Tabela 4.4 – Valores das medidas de tendência central

Medidas de tendência central - Caminhamento	
Média	86,9
Mínimo	69
Máximo	98
Mediana	87,5
1º quartil	81
3º quartil	93
Moda	98

Quanto a dispersão dos resultados é possível observar uma amplitude considerável de 29 pontos, o que é bom para a pesquisa pois significa uma abrangência maior de condições de pavimentos e conseqüentemente uma diversificação nas necessidades de M&R dos segmentos avaliados. Além disso, o desvio padrão (S) de 7,78 expressa que o conjunto de valores de ICP objetivo possuem um grau de dispersão que pode ser considerado pequeno com relação a média.

Tabela 4.5 – Valores das medidas de dispersão

Medidas Dispersão - Caminhamento	
Amplitude	29,00
Desvio Padrão	7,78
Variância	60,60
Coeficiente De Variação	11,16

Os índices encontrados na avaliação foram agrupados em faixas de intervalos de ICP iguais com o propósito de tornar os resultados do estudo mais visual e representativo. Para isso, elaborou-se o gráfico 4.1 onde no eixo das abscissas tem-se os intervalos amostrais de ICP objetivo variando a cada 5 pontos e no eixo das ordenadas é apresentada a frequência absoluta de segmentos com nota localizados em cada intervalo de 5 pontos.

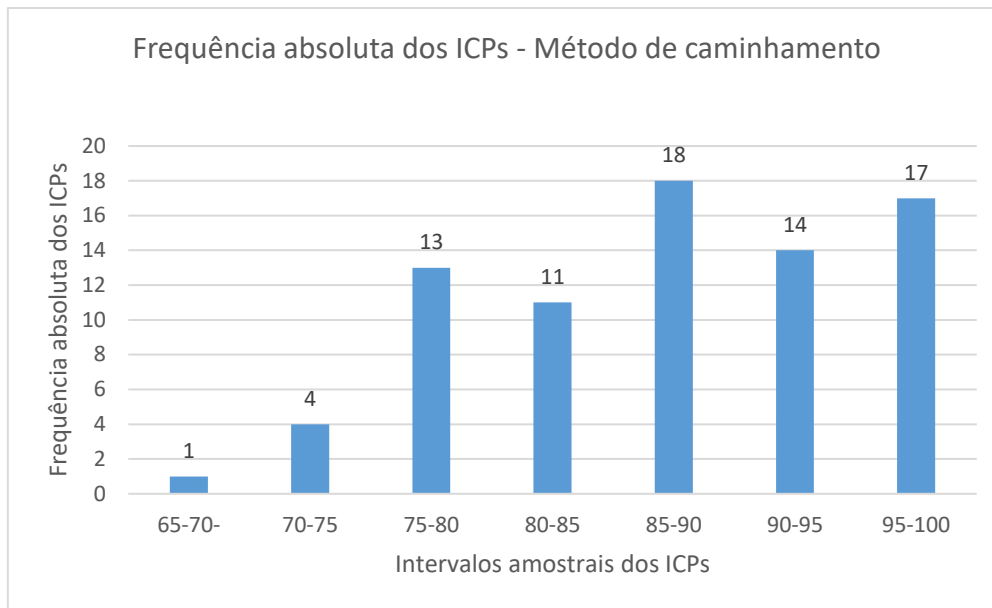


Gráfico 4 .1 – Frequência absoluta com que os ICPs ocorrem na amostra, para intervalos de 5 (Fonte: autor)

Os defeitos inventariados foram de dez tipos: trincas por fadigas, trincas longitudinais, deformação permanente, remendos, panelas, defeitos nos bordos, desgaste, agregados polidos e corrugação. Logo, dois terços do previsto no Manual SHRP (2003) pode ser observado nos percursos de avaliação o que reflete a relevância de haver um banco de dados atualizado periodicamente para possibilitar melhores tomadas de decisões no investimento em M&R, e formação de um tipo SGPU. O gráfico 4.2 evidencia o volume de ocorrência de cada defeito observado pelo método do caminhada, considerando que cada ocorrência significa um segmento afetado pelo defeito correspondente independente do grau de severidade ou extensão desse defeito apresentado. Pode-se constatar que os três defeitos mais recorrentes foram: desgaste (todos os segmentos), agregados polidos em 65 segmentos, e remendos que estavam presentes em 60 segmentos distintos. Enquanto isso, os defeitos menos recorrentes foram: corrugação em apenas 6 amostras de segmentos e defeitos de bordos e trincas longitudinais, observadas em 8 segmentos.

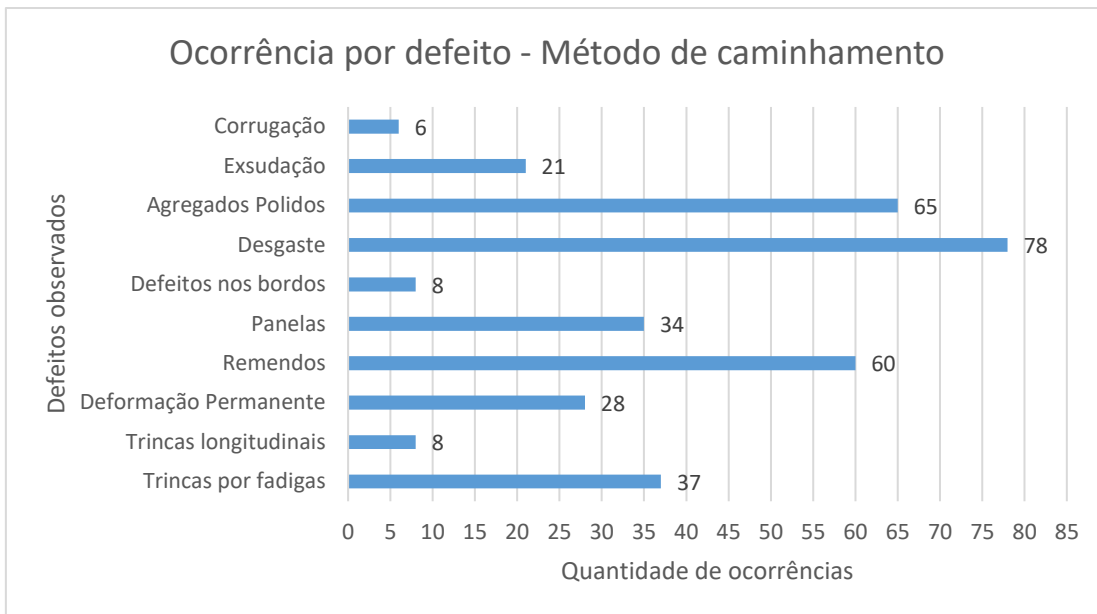


Gráfico 4.2 – Ocorrência por defeito da amostra de segmentos, para intervalos de 5 (Fonte: autor)

A partir da avaliação dos pavimentos com respeito aos defeitos de superfície obteve-se previsões técnicas de M&R para cada segmento percorrido. Foram consideradas 5 categorias de Manutenção e Reabilitação: Nada a Fazer (NF), Manutenção Preventiva (MP), Manutenção Corretiva (MC), Reforço Estrutural (RF) e Reconstrução (RC). Com exceção da Reconstrução, que foi recomendada para apenas um segmento, as outras quatro categorias de M&R obtiveram números de ocorrência relevantes no espaço amostral, com a categoria de “NF” abarcando o maior número de segmentos avaliados. Os gráficos 4.3 e 4.4 apontam, respectivamente, as porcentagens de segmentos para os quais se recomendou determinada M&R e os valores absolutos desses segmentos.

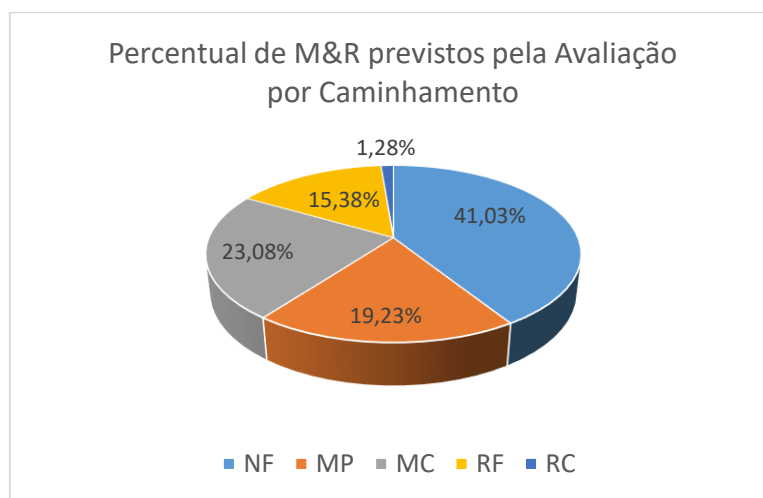


Gráfico 4.3 – Percentual de M&R previstos pela Avaliação por Caminhamento

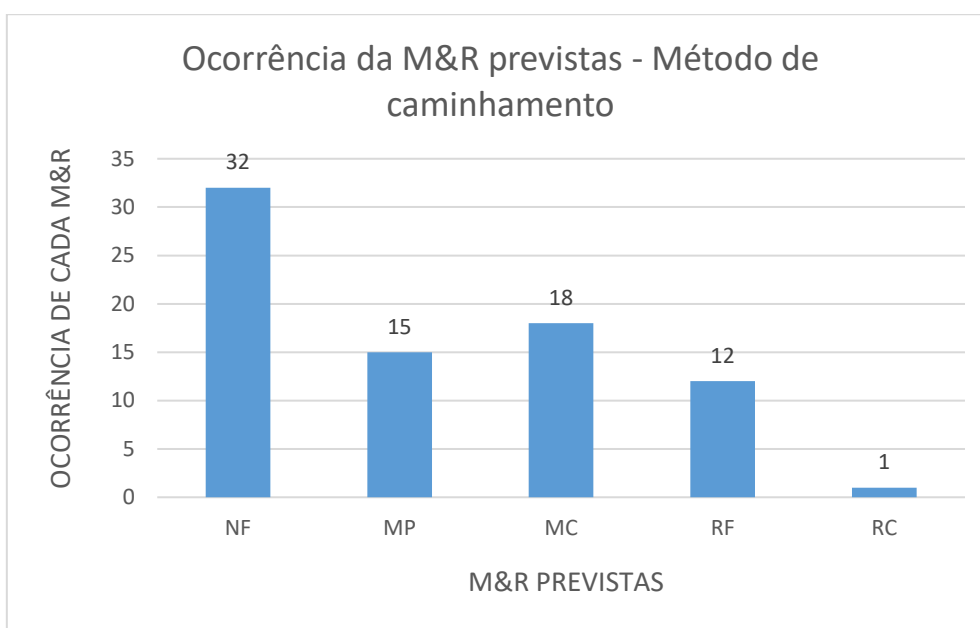


Gráfico 4.4 – Quantidades absolutas de segmentos segundo a M&R recomendadas

Fonte: Autor

Ao final do estudo constará no Anexo 3 a tabela com os 78 segmentos analisados e as respectivas M&R previstas para cada um deles.

4.2. RESULTADOS DA AVALIAÇÃO POR VÍDEO REGISTRO

O processo de vídeo registro foi executado pelos dois avaliadores do estudo, contudo diferentemente da avaliação por caminhamento a análise do método de vídeo registro foi feita apenas pelo autor da pesquisa. Seguiu-se o mesmo processo de ordenamento dos segmentos avaliados pelo outro método, a fim de conferir a correta correspondência e proporcionar a comparação efetiva dos modos de avaliação.

A proposta inicial da pesquisa era avaliar as condições do pavimento por meio de vídeo registro para as velocidades médias de 20 km/h, 30km/h e 40km/h. Contudo, logo no início das filmagens ficou clara a dificuldade de realizar as avaliações para velocidades maiores que 30km/h, devido à contraprodutividade na avaliação. Seria necessário pausar o vídeo inúmeras vezes, com possível perda na visualização de defeitos mais pontuais. Portanto a estratégia de obtenção de dados adotada foi trafegar nas vias com a velocidade média por volta de 20km/h.

A avaliação por vídeo registro dos 28 minutos e 12 segundos de tempo total de filmagem demandou pouco menos de 5 horas contínuas para ser executada. Observou-se a relação indireta de aumento entre os tempos médio de avaliação por segmento conforme os ICPs médio por vídeo reduziam. Por exemplo, os “Vídeo 1” e “Vídeo 2” que possuem os melhores ICP’s médio demandaram menos de 3 minutos por segmento para serem avaliados. Contudo, também cabe ressaltar que os segmentos percorridos nos “Vídeo 4” e “Vídeo 5” são vias locais mais extensas em média que os segmentos dos três primeiros vídeos, cuja maior parte dos segmentos estão em vias coletoras. A tabela 4.6 esboça os segmentos de pista separados segundo os vídeos os quais estão registrados, os prazos de avaliação, assim como os valores médios de ICP por vídeo.

Ao longo da avaliação por vídeo registro notou-se que a forma de assisti-los que conferia maior fluência na análise, reduzindo substancialmente o número de pausas e permitindo contabilizar os defeitos de maneira calma foi reproduzindo as filmagens com o vídeo em “câmera lenta”. As imagens foram reguladas no computador para uma avaliação com um fator de reprodução de 0,5 vezes, isto é, a 50% da velocidade original. Portanto, as avaliações deram seguimento dessa forma.

Tabela 4.6 – Relação entre o tempo de avaliação por vídeo registro dos segmentos e o ICP médio

Vídeo	Segmentos	Duração vídeo	Tempo total	Tempo por segmento	ICP médio
1	21	4 min 40 seg	51min 20seg	2min 26seg	93,1
2	9	3min	24min 25seg	2min 42seg	92,0
3	30	8min 30seg	114min 10seg	3min 48seg	87,8
4	9	5min 32seg	50min 08seg	5min 34seg	77,4
5	9	6min 30seg	48min 13seg	5min 21seg	83,9
TOTAIS	78	28min 12seg	4h 48min 16seg		

Assim como na avaliação por caminhamento, foi levantada a estatística descritiva dos valores resultantes de ICP objetivo encontradas por meio do vídeo registro, obtendo-se as medidas de tendência central e medidas de dispersão. A tabela 4.7 traz os valores estatísticos encontrados para as medidas de tendência central, e a tabela 4.8 mostra os valores de dispersão. Feita a verificação dos números é possível inferir

que assim como apontado pelo outro método de avaliação, em média o pavimento analisado possui boa qualidade e a nota média de ICP objetivo igual a 88,1 e que há uma grande amplitude um pouco maior entre as amostras de variável mínima e máxima com relação a avaliação por caminhamento. Verificando os quartis conclui-se que os 25% menores valores de ICP objetivo são menores ou iguais a 83 pontos, e que 75% das amostras possui valor equivalente ou inferior a 94 pontos. Para essa abordagem, a ICP que mais se repetiu (moda) foi de 92. É possível observar ainda que pelo método de avaliação do Vídeo Registro o desvio padrão (S) foi ligeiramente menor que o obtido na avaliação por caminhamento, indicando uma menor dispersão dos dados em torno da média.

Tabela 4.7 – Medidas de tendência central da avaliação por Vídeo Registro

Medidas de tendência central – Vídeo Registro	
Média	88,1
Mínimo	67
Máximo	98
Mediana	91
1º quartil	83
3º quartil	94
Moda	92

Tabela 4.8 – Valores das medidas de dispersão

Medidas Dispersão - Caminhamento	
Amplitude	31
Desvio Padrão	7,39
Variância	54,55
Coefficiente De Variação	11,92

Os ICPs objetivos encontrados na avaliação indicado pelo seu respectivo segmento estão em evidência na tabela 4.9. Estes mesmos índices foram agrupados em faixas de intervalos de ICP e estão classificados no gráfico 4.5. O eixo das abscissas indica os intervalos amostrais de ICP objetivo variando a cada 5 pontos e o eixo das ordenadas apresentada a frequência absoluta de segmentos.

Tabela 4.9 - Valores calculados de ICP objetivo referentes ao caminhamento

(Fonte: autor)

Segmento	ICP objetivo	Segmento	ICP objetivo	Segmento	ICP objetivo
1	78	27	93	53	89
2	89	28	92	54	81
3	84	29	91	55	83
4	96	30	79	56	80
5	98	31	79	57	85
6	97	32	79	58	86
7	98	33	79	59	87
8	96	34	79	60	89
9	95	35	91	61	93
10	96	36	85	62	68
11	92	37	88	63	67
12	93	38	89	64	77
13	93	39	94	65	77
14	91	40	92	66	75
15	93	41	92	67	76
16	95	42	92	68	69
17	92	43	86	69	95
18	94	44	90	70	81
19	95	45	88	71	80
20	94	46	94	72	80
21	96	47	93	73	88
22	97	48	94	74	85
23	92	49	91	75	83
24	95	50	94	76	88
25	95	51	92	77	82
26	94	52	93	78	88

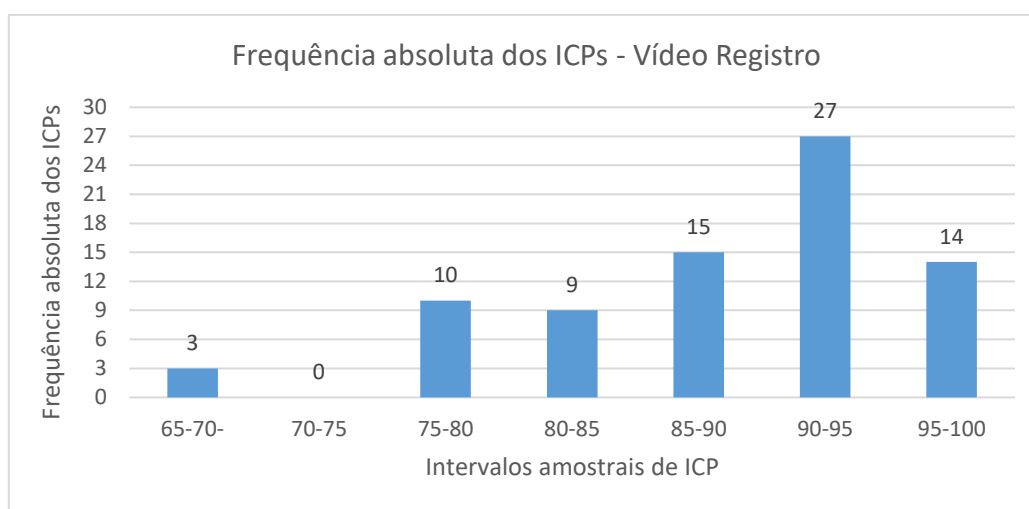


Gráfico 4.5 – Frequência absoluta com que os ICPs ocorrem na amostra, para intervalos de 5 (Fonte: autor).

Os defeitos encontrados por vídeo registro foram os mesmos observados na avaliação por caminhamento. O gráfico 4.6 esboça a ocorrência absoluta de cada um dos defeitos inventariados na análise de vídeo. Assim como na avaliação pelo outro método, os três defeitos mais recorrentes foram: desgaste (todos os segmentos), agregados polidos em 63 segmentos, e remendos que estavam presentes em 60 segmentos distintos. Enquanto isso, os defeitos menos recorrentes foram: trincas longitudinais com 2 ocorrências, corrugação em apenas 5 amostras de segmentos e defeitos de bordos observadas em 12 segmentos.



Gráfico 4.6 – Ocorrência por defeito da amostra de segmentos, para intervalos de 5 (Fonte: autor)

Da mesma forma como no método de avaliação por caminhamento, ao fim da avaliação de cada segmento foi atribuída uma previsão de M&R, sendo elas: Nada a Fazer (NF), Manutenção Preventiva (MP), Manutenção Corretiva (MC), Reforço Estrutural (RF) e Reconstrução (RC). Novamente, “Reconstrução” foi a técnica de M&R e a qualidade muito boa de uma grande parcela de segmentos indicou “Nada a Fazer”. Os gráficos 4.7 e 4.8 apontam, respectivamente, as porcentagens de segmentos para os quais se recomendou determinada M&R e os valores absolutos desses segmentos.

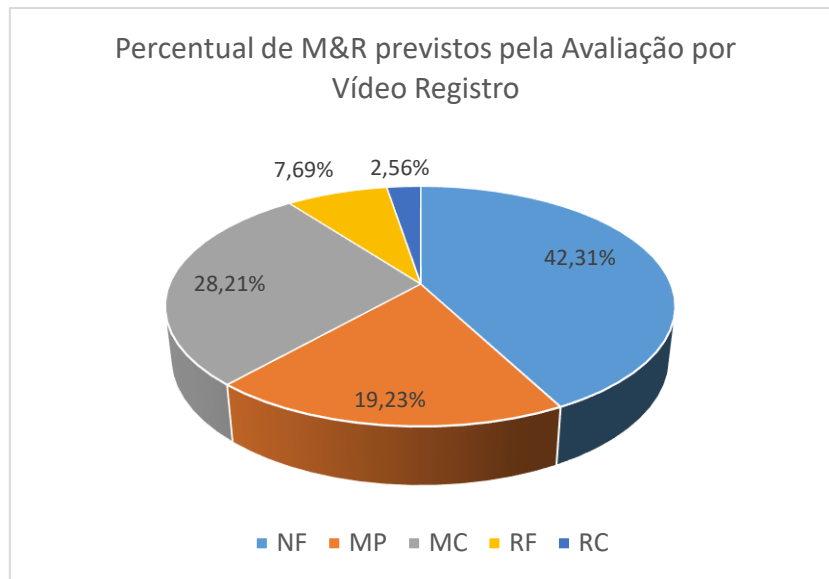


Gráfico 4.7 – Percentual de M&R previstos pela Avaliação por Vídeo Registro

Fonte: Autor

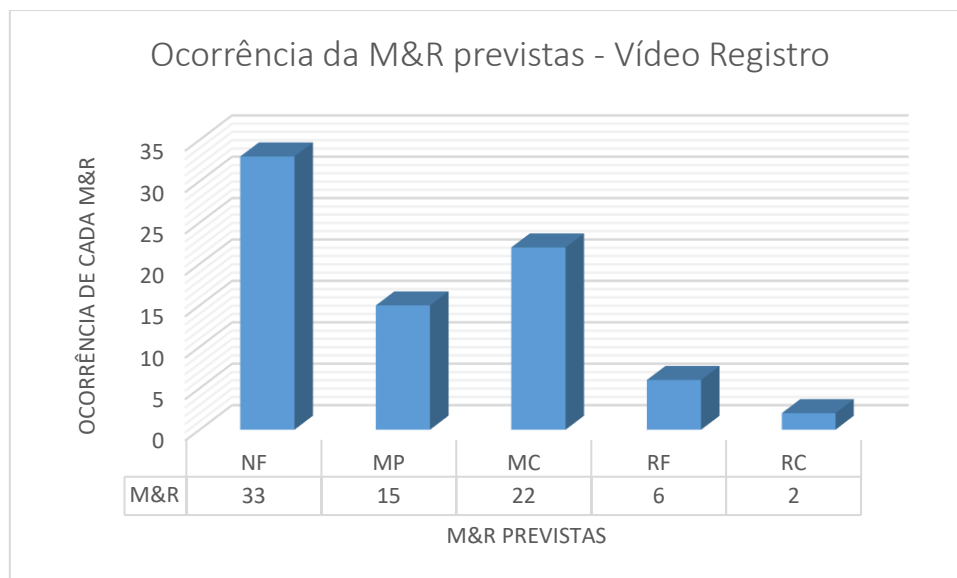


Gráfico 4.8 – Quantidades absolutas de segmentos segundo a M&R recomendadas

Fonte: Autor

Ao final do estudo constará no Anexo 4 a tabela com os 78 segmentos analisados e as respectivas M&R previstas para cada um deles pelo método do Vídeo Registro.

4.3. COMPARAÇÃO ENTRE O ICP OBJETIVO DAS AVALIAÇÕES

O Teste de Hipótese foi feito partindo da premissa que as diferenças entre os valores de ICP encontrados por ambos os métodos de avaliação seria igual a zero, para uma confiança de 95% e nível de significância (α) de 5%. A distribuição t de Student para

amostras emparelhadas é baseada no valor t para $(n-1)$ graus de liberdade numa amostra onde $n = 78$. A equação 4.1 apresenta o cálculo do valor t .

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}} \quad \text{Equação 4.1}$$

Onde,

d = diferença individual entre dois valores em um único par combinado;

μ_d = média das diferenças d para população de todos os pares combinados (a H_0 em avaliação);

\bar{d} = média das diferenças para os dados amostrais emparelhados;

S_D = desvio padrão das diferenças d para os pares amostrais combinados;

n = número de pares combinados.

Com auxílio do Excel, chegou-se aos seguintes valores apresentados na tabela 4.10 e quadro 4.1. Este último foi obtido com o uso da ferramenta “Análise de dados” com emprego do “Teste T com duas amostras em par para médias”. Assumindo hipótese com diferença média igual a 0 e o $\alpha = 0,05$. Para um valor de $t = 2,36056$ e uma distribuição bilateral ou bi-caudal pode-se observar que o valor de t extrapola o t crítico bi-caudal de 1,99125.

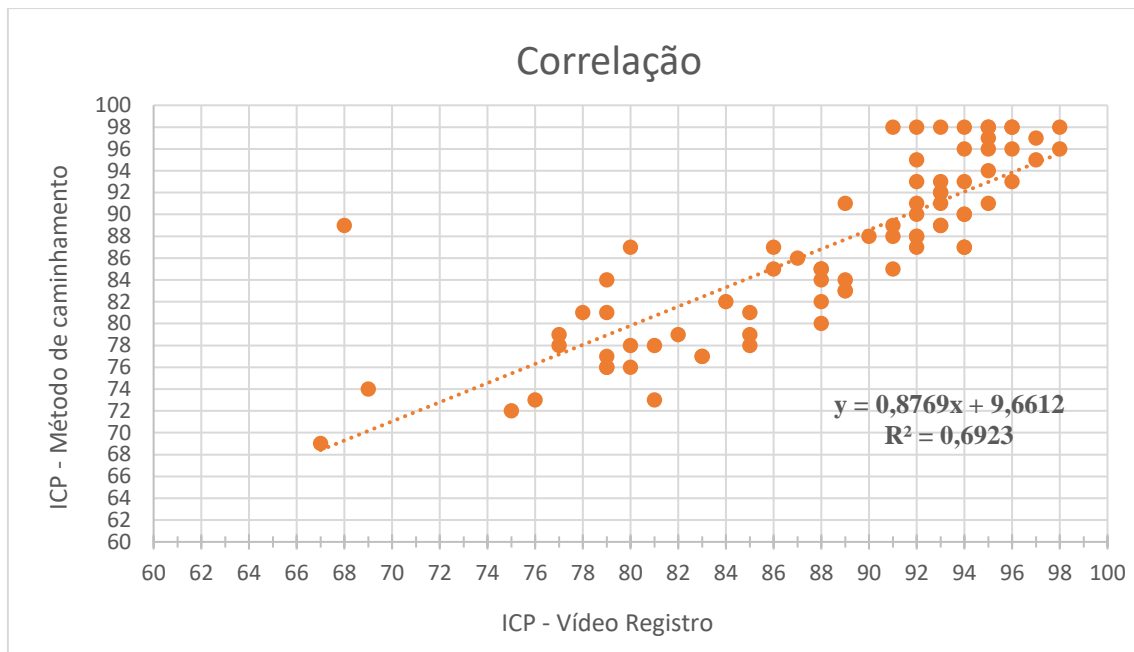
Tabela 4.10 – parâmetros do teste t

\bar{d}	1,17949
Sd	4,41292
n	78
μ_d	0
t	2,36056

Quadro 4.1 - Teste-t empregado para duas amostras em par para médias

Resultados para o teste t de Student	ICP objetivo – Vídeio Registro	ICP objetivo- Caminhamento
Média	88,06410	86,88462
Variância	54,55428	60,59690
Observações	78	78
Correlação de Pearson	0,83203	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	77	
Stat t	2,36056	
P(T<=t) uni-caudal	0,01039	
t crítico uni-caudal	1,66488	
P(T<=t) bi-caudal	0,02078	
t crítico bi-caudal	1,99125	

A correlação entre as amostras par a par, vista no gráfico 4.9, apresenta uma correlação positiva moderada de Pearson no valor de $R = 0,83203$, com $R^2 = 0,6923$ indicando que a variável X (ICP por Vídeo Registro) explica em 69,23% a variável Y (ICP método de caminhada).



5. CONCLUSÃO

O levantamento das condições do pavimento em Valparaíso de Goiás (GO) revelou, para o pequeno espaço amostral de segmentos de vias dentro de um todo da malha viária do município, em média boa capacidade de atender aos usuários das vias. Contudo, isso se deve a um dos trechos selecionados ter sido recapeado com uma camada asfáltica há pouco tempo, o que alavancou o número de segmentos M&R indicada de “Nada a Fazer” (NF) para pouco mais de 40% das amostras de segmentos. As médias dos ICPs objetivos de 88,06 e 86,88, respectivamente para a avaliação por vídeo registro e por caminhamento, sugere que as vias estão em estágio de deterioração precoce ainda, com potencial efetivo positivo quanto ao aumento na sua vida útil se forem realizadas manutenções preventivas periodicamente.

A estatística descritiva apontou uma amplitude nos valores do ICP objetivo razoavelmente grande entre as amostras segundo os dois métodos, variando 31 pontos na avaliação por vídeo registro. Isso indica que apesar de em termos gerais a média dos ICPs estar boa existem pavimentos que demandam séria atenção. Para a avaliação por caminhamento uma elevada porcentagem de 15,38% das amostras teve como recomendação o “Reforço estrutural” (RF) por técnica de recapeamento, comprovando que é necessário dar relevância e monitorar com frequência a progressão dos defeitos nas vias.

Tendo em vista a dificuldade de muitos municípios gerirem seu orçamento para que consigam aplicá-lo em investimentos na infraestrutura, como conservação e manutenção de vias urbanas, é comum a tomada de decisões paliativas, por exemplo as operações “tapa-buracos”. Posto isso, é notória a relevância da implementação de políticas que incentivem o desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) e busquem alimentar os níveis de rede e projeto com dados a respeito das condições da malha viária municipal. A avaliação funcional com identificação de defeitos na superfície do pavimento possui várias metodologias, dentre elas duas empregadas na pesquisa, e devido ao seu nível de complexidade teórico e prático de execução é bem recomendada na implementação dos SGPU.

Quanto ao teste de hipótese realizado no intuito de verificar se a diferença nas médias era nula, constatou-se que por uma pequena margem a hipótese nula (H_0) foi rejeitada. No entanto, devido à proximidade em suas médias e pouca experiência do avaliador principal, acredita-se que havendo um treinamento mais avançado e expansão do espaço amostral de segmentos de vias avaliados é possível que haja sim uma melhor correspondência entre as metodologias de avaliação.

Em termos gerais o método de avaliação por vídeo registro apresentou resultados semelhantes ao por caminhamento, tanto em notas como com respeito aos números absolutos de cada grupo de M&R indicado, além da boa correspondência por pares amostrais. Contudo, acredita-se que o método deve agir mais como um acessório ou metodologia paralela a outra, como o método de avaliação por caminhamento ou o LVC no caso de rodovias, como é feito pelo DNIT e outros órgãos internacionais. Sugere-se que ele possa ser empregado como único método de avaliação em cenários que ofereçam perigo para os avaliadores, como zonas de conflitos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, F.S. (2007) **Sistema de Gerência de Pavimentos para Departamentos de Estradas do Nordeste Brasileiro**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.303p.

AASHTO. **Pavement management guide**. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DCC/USA, 2001.

ASTM- American Society for Testing and Materials D 6433 – 2011 – *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*.

BARELLA, R. M. **Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais**. Politécnica de São Paulo - universidade de São Paulo. São Paulo, p. 362. 2008.

CAREY, W. N.; IRICK, P. E. **The Pavement Serviceability - Performance Concept**. Highway Research Board, HBR bulletin, 1960. 40-58.

DNER. **O Sistema de Gerenciamento de Pavimentos do DNER**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. [S.l.], p. 84. 2000.

DNIT (2006). Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. 2ª.Ed. Rio de Janeiro, 2006.310p.

DNIT (2011)- **Manual de Gerência de Pavimentos**. DNIT. Rio de Janeiro, p. 189. 2011.

Dynatest Engenharia LTDA. Web Site. Figuras ilustrativas de equipamentos de monitoramento de vias, disponível em: <http://www.dynatest.com.br>. Consultado em novembro de 2018.

DNIT 008/2003 – PRO. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes **Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos Procedimento**, 2013.

FERNANDES JR, J.L.; ODA, D.; ZERBINI, L.F.(1999). **Defeitos e Atividades de Manutenção e Reabilitação em Pavimentos Asfálticos**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes, São Carlos, SP.

FERNANDES, F. M. L. S. **Software de Gerenciamento de Pavimentos Aplicado a Vias urbanas de Cidades de Pequeno a Médio Porte**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 1-36. 2017.

GALEHOUSE,L.; MOULTHROP, J.; HICKS,G. **Principles of Pavement Preservation Definitions, Benefits, Issues, and Barriers**, Highway Infrastructure Preservation, 2003.

HAAS, R., HUDSON, W., ZANIEWSKI, J. **Modern Pavement Management**. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida (1994).

HAAS, R.; HUDSON, W. R. **Future Directions and Needs for Innovation in Pavement Management**. International Conference on Managing Pavements. San Antonio, p. 122-130. 1994.

Highway Research Board. The AASHO Road Test, Report 7, National Academy of Sciences – National Research Council. Washington, D.C. 1962 .

LIMA, J.P. **Modelo de decisão para a priorização de vias candidatas às atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.

MATTOS, J.R.G. **Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendência de desempenho para rodovia BR- 290/RS**. Dissertação de mestrado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2009.

REIS, C.A.R. **Desenvolvimento de Equipamento e Método para Levantamento Visual Contínuo com Vídeo-Registro de defeitos de Equipamentos Rodoviários**. Dissertação de mestrado de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS, 2007.

RTAC. **Pavement Management Guide**. Roads and Transportation Association of Canada. Ottawa. 1977.

SILVA, A.H.M. **Proposta de procedimento para análise de alternativas de manutenção em sistemas de gerência de pavimentos**. Tese de doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes

WANG, K.C.P; SMADI, O. **Automated Imaging Technologies for Pavement Distress Surveys**, Transportation Research Circular, Transportation Research Board, Washington, 2011.

ZANCHETTA, F. (2017). **Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos: Avaliação de Campo, Modelo de Desempenho e Análise Econômica**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2017.234p.

http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/I-P-DE-P00-003_A.pdf < acessado em 21 de novembro de 2018.

<https://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/98marapr/shrp.cfm> < acessado em 25 de novembro de 2018.

<http://www.pavemetrics.com/applications/road-inspection/laser-road-imaging-system/>
< acessado em 29 de novembro de 2018.

<http://www.dnit.gov.br/download/veiculo-de-diagnostico-de-rodovias.pdf>
< acessado em 11 de junho de 2019.

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=o-que-e> < acessado em 14 de junho de 2019.

ADENDO 1

Descrição de defeitos segundo o Manual SHRP (2003) e Fernandes Júnior et al (1999):

A) Trincas (defeitos tipo A)

1. Trincas por fadiga do revestimento:

- Características: áreas submetidas a repetidos ciclos de cargas de tráfego, em forma de “couro de crocodilo” ou “tela de galinheiro”, e espaçamento inferior a 30 cm.
- Nível de severidade: se com poucas trincas ligadas entre si, ausência de erosões nas bordas e sem indícios de bombeamento (Baixa); conexão entre trincas e bordos pouco erodidos, ainda sem bombeamento (Média); trincas erodidas nos bordos, com movimentação de blocos sob estresse do tráfego e sinais de bombeamento (Alta). É possível observar as trincas conforme sua severidade na figura 2.14.
- Medição: marcação das áreas afetadas (m²) para cada nível de severidade.



Figura A.1 – Trincas por fadiga do revestimento severidade baixa (SHRP,2003)

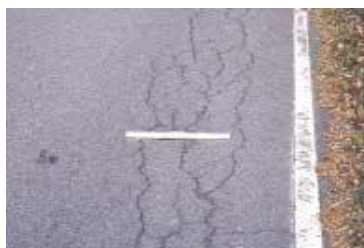


Figura A.2 – Trincas por fadiga do revestimento severidade média (SHRP,2003)



Figura A.3 – Trincas por fadiga do revestimento severidade alta (SHRP,2003)

2. Trincas em blocos:

- Características: divisão do pavimento em pedaços de geometria próxima a retangular e blocos de até 10 m².
- Nível de severidade: abertura média de trincas inferior a 6 mm (Baixa); abertura variando entre 6 a 19mm e com surgimento de trincas adjacentes se ligeira severidade (Média); trincas largas maiores que 19mm ou circundadas por trincas de gravidade moderada ou alta (Alta).
- Medição: marcação das áreas afetadas (m²) para cada nível de severidade.



Figura A.4 – Trincas em blocos alta severidade
(SHRP, 2003)

3. Trincas nos bordos:

- Características: típica de pavimentos sem acostamento pavimentado, inserida numa faixa de até 60cm da extremidade da via.
- Nível de severidade: não havendo perda de material o despedaçamento (Baixa); desaparecimento de material em até 10% da extensão afetada (Média); perda do revestimento e despedaçamento maior do que 10% da extensão afetada (Alta).
- Medição: registro da extensão (m) para cada falha conforme a severidade.



Figura A.5 – Trincas nos bordos baixa severidade (SHRP, 2003)

4. Trincas longitudinais:

- Características: sentido de crescimento em sua maioria paralelas ao eixo, localizando-se dentro ou fora das trilhas de roda.
- Nível de severidade: abertura média de trincas inferior a 6 mm ou seladas com material selante em bom estado (Baixa); abertura variando entre 6 a 19mm e com surgimento de trincas adjacentes se baixa severidade (Média); trincas largas maiores que 19mm ou circundadas por trincas de gravidade moderada ou alta (Alta).
- Medição: registro do comprimento (m) das trincas e seus respectivos níveis de severidade (dentro ou fora das trilhas de roda), além do registro da extensão com selante em condições adequadas.



Figura A.6 – Trincas longitudinais de moderada severidade (SHRP, 2003).



Figura A.7 – Trincas longitudinais de alta severidade (SHRP, 2003).

5. Trincas por reflexão:

- Características: reflexão de trincas ou juntas das camadas de base, contração na base de pavimentos novos ou recapeados.
- Nível de severidade: abertura média de trincas inferior a 6 mm ou seladas com material selante em bom estado (Baixa); abertura variando entre 6 a 19mm e com surgimento de trincas adjacentes se baixa severidade (Média); trincas largas maiores que 19mm ou circundadas por trincas de gravidade moderada ou alta (Alta).
- Medição: registrar separadamente as trincas transversais das longitudinais, quantificando as transversais e aferindo a extensão das trincas conforme seu grau de severidade, observar a extensão preenchida com selante.



Figura A.8 – Trincas por reflexão de alta severidade (SHRP, 2003)

6. Trincas transversais:

- Características: dispersão das trincas em sentido perpendicular ao eixo, observância da severidade das trincas para adoção da de grau mais elevado, desde que represente ao menos 10% da extensão.
- Nível de severidade: abertura média de trincas inferior a 6 mm ou seladas com material selante em bom estado (Baixa); abertura variando entre 6 a 19mm e com surgimento de trincas adjacentes se baixa severidade (Média); trincas largas maiores que 19mm ou circundadas por trincas de gravidade moderada ou alta (Alta).
- Medição: registro do número de trincas, extensão e respectivas severidades. Registro da extensão com selante em bom estado.



Figura A.9 – Trincas transversais de alta severidade (SHRP, 2003)

B) Remendos e Panelas (defeitos tipo B)

1. Remendos

- Características: porção da superfície do pavimento de área superior a $0,1\text{m}^2$ removida e substituída ou aplicação de material em sequência à construção do pavimento.
- Nível de severidade: dependente da severidade dos defeitos da amostra de remendo.
- Medição: anotar o número de remendos e área afetada (m^2) de acordo com o nível de severidade.



Figura A.10 - Remendos de baixa severidade (SHRP, 2003)



Figura A.11 - Remendos de baixa severidade (SHRP, 2003)



Figura A.12 - Remendos de baixa severidade (SHRP, 2003)

2. Painelas

- Características: gerada por buracos de desintegração localizados em área de ação constante do tráfego e presença de água. Fragmentação produzida por trincas por fadiga ou desgaste, de remoção localizada de partes do revestimento.
- Nível de severidade: profundidade menor do que 25mm (Baixa); entre 25 e 50mm de profundidade (Média); maior do que 50mm (Alta).
- Medição: registro do número de painelas e área afetada (m²) por cada nível de severidade.



Figura A.13 - Painelas de baixa severidade (SHRP, 2003)



Figura A.14 - Painelas de média severidade (SHRP, 2003)



Figura A.15 - Painelas de alta severidade (SHRP, 2003)

C) Deformações superficiais (defeitos tipo C)

1. Deformação permanente na trilha de roda:

- Características: depressão (afundamento) longitudinal nas trilhas de roda, pela densificação dos materiais ou ruptura por cisalhamento.
- Níveis de severidade: não há efeito de categorização de nível, apenas medições de deformações permanentes a cada 15m.
- Medição: Registrar maior deformação permanente nas trilhas de roda.



Figura A.16 - afundamentos de trilhos de roda demarcados pelo acúmulo de água (SHRP,2003)

2. Corrugação:

- Características: deformação plástica caracterizada pela formação de ondulações transversais na superfície do pavimento. Sua formação parte de esforços tangenciais, como aceleração e frenagem.
- Nível de severidade: ligado aos efeitos a respeito da qualidade do rolamento.
- Medição: inventariar o número de ocorrências e a área afetada (m²).



Figura A.17 – representação de corrugação (SHRP, 2003)

D) Defeitos na superfície (defeitos tipo D)

1. Exsudação

- Características: dosagem excessiva de ligante betuminoso na superfície do pavimento.
- Nível de severidade: mudança na coloração comparada ao restante do pavimento devido ao excesso de asfalto (Baixa); perda de textura superficial (Média); aparência brilhante e marcas de pneu evidentes sob altas temperaturas na superfície do asfalto, agregados cobertos pelo asfalto (Alta).
- Medição: registro das áreas (m²) afetadas para cada respectivo nível de seriedade.



Figura A.18 – representação de exsudação (SHRP, 2003)

2. Agregado polido

- Características: polimento (desgaste) dos agregados e ligante betuminoso, com exposição dos agregados graúdos. Gera preocupação pela redução do coeficiente de atrito entre pneu-revestimento.
- Nível de severidade: relativo à diminuição no coeficiente de atrito pneu-pavimento.
- Medição: registrar a área afetada (m²).



Figura A.19 – agregado polido (SHRP, 2003)

3. Desgaste

- Características: perda de adesividade entre o ligante betuminoso e os agregados. Envelhecimento, endurecimento, oxidação, volatilização, intemperização do revestimento.
- Nível de severidade: início do desgaste com perda de agregados miúdos (Baixa); textura superficial fica áspera e há perda tanto de agregados miúdos quanto parte dos grãos (Média); textura superficial muito áspera e perda dos agregados grãos (Alta).
- Medição: anotar cada área afetada (m²) de acordo com o respectivo nível.



Figura A.20 – desgaste (SHRP, 2003)

E) Defeitos diversos (defeitos tipo E)

1. Desnível pista-acostamento

- Características: discrepância de elevação entre a faixa de rolamento externa de tráfego e o acostamento, camadas sucessivas de revestimento asfáltico, erosão do acostamento não pavimentado, consolidação diferencial.
- Nível de severidade: avaliados de acordo com as medições de desnível.
- Medição: checar o desnível (mm) a cada 15m por toda extensão da junção pista-acostamento.



Figura A.21 – desnível pista-acostamento (SHRP, 2003)

2. Bombeamento

- Características: vazão de água pelas trincas do pavimento sob a ação de cargas do tráfego; possível observar por meio da deposição de material arrastado das camadas inferiores.
- Nível de severidade: varia conforme o teor de umidade das camadas inferiores do pavimento.
- Medição: registro do número de ocorrências e a extensão afetada por elas (m²).



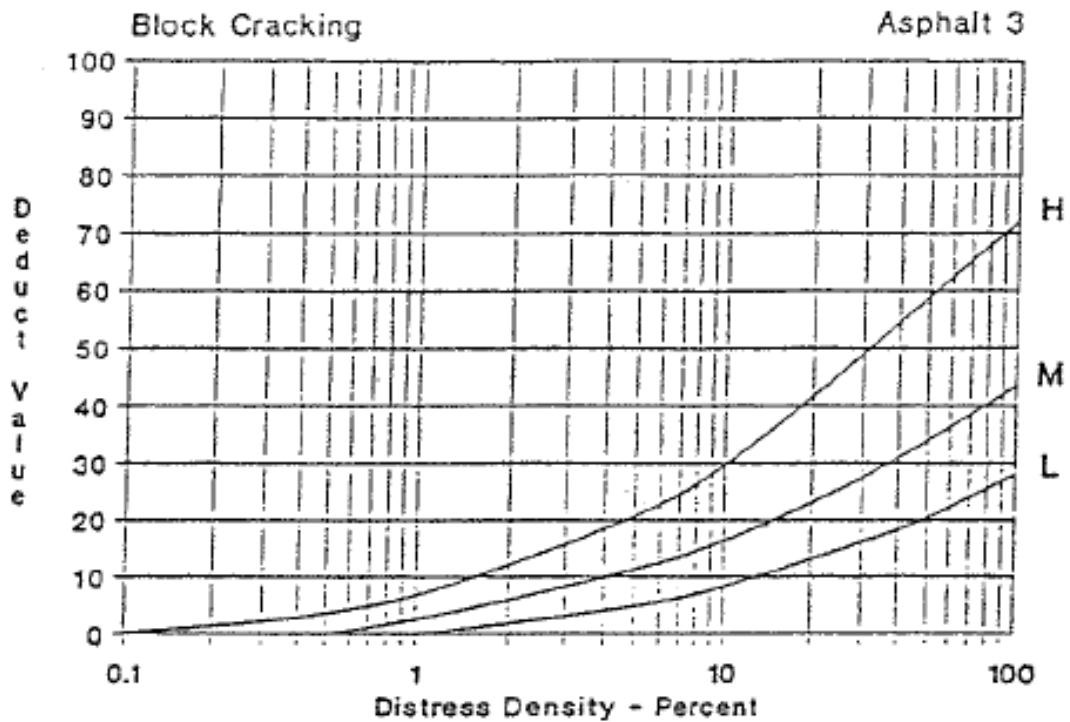
Figura A.22 – Bombeamento (SHRP, 2003)

ANEXOS

Anexo 1 – Folha de dados para avaliação pelo método PCI, adaptada do ASTM D6433 (2007)

FOLHA DE DADOS DA UNIDADE DE AMOSTRA PARA A AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PELO MÉTODO DO PCI								ESBOÇO		
Trecho: _____		Seção: _____		Unidade de amostra: _____						
Avaliador: _____		Data: _____		Área da amostra: _____						
1. Trincas em bloco		6. Trincas de derrapagem		11. Depressão		16. Exsudação				
2. Trinca nos bordos laterais		7. Remendo		12. Deformação permanente		17. Agregados Polidos				
3. Trincas por fadiga		8. Buracos		13. Escorregamento		18. Desnível Pista-acostamento				
4. Trincas por reflexão em juntas		9. Inchaços e Afundamentos		14. Ondulação		19. Cruzamento de linha férrea				
5. Trincas longitudinais e Transversais		10. Corrugação		15. Intemperismo e desgastes						
Severidade do defeito	Quantidade							Total	Densidade (%)	Valor de dedução

Anexo 2 – Ábaco referente ao valor de dedução das “trincas em blocos”



Anexo 3 – Planilha com descrição das M&R previstas para cada segmento pela avaliação por Caminhamento.

Segmento	Previsões de M&R	Segmento	Previsões de M&R	Segmento	Previsões de M&R
1	RF	27	NF	53	MP
2	MC	28	NF	54	MC
3	MP	29	NF	55	MC
4	NF	30	MC	56	MC
5	NF	31	MC	57	MP
6	NF	32	RF	58	MP
7	NF	33	MC	59	MC
8	NF	34	MC	60	MP
9	NF	35	MP	61	NF
10	NF	36	MC	62	RC
11	NF	37	MC	63	RC
12	NF	38	MP	64	MC
13	NF	39	NF	65	RF
14	MC	40	MP	66	RF
15	NF	41	NF	67	RF
16	NF	42	MP	68	RF
17	MC	43	MP	69	NF
18	NF	44	MP	70	MC
19	NF	45	MP	71	MC
20	NF	46	NF	72	MC
21	MC	47	NF	73	MP
22	NF	48	NF	74	MC
23	MC	49	NF	75	MC
24	NF	50	NF	76	MP
25	NF	51	NF	77	MC
26	NF	52	NF	78	MP

Anexo 4 – Planilha com descrição das M&R previstas para cada segmento pela avaliação por Vídeo Registro.

Segmento	Previsões de M&R	Segmento	Previsões de M&R	Segmento	Previsões de M&R
1	MP	27	NF	53	MP
2	MC	28	NF	54	MC
3	MP	29	NF	55	MC
4	NF	30	MC	56	MC
5	NF	31	MC	57	MP
6	NF	32	MC	58	MP
7	NF	33	MC	59	MC
8	NF	34	MC	60	MP
9	NF	35	MP	61	NF
10	NF	36	MC	62	RC
11	NF	37	MC	63	RC
12	NF	38	MP	64	MC
13	NF	39	NF	65	RF
14	MC	40	MP	66	RF
15	NF	41	NF	67	RF
16	NF	42	MP	68	RF
17	MC	43	MP	69	NF
18	NF	44	MP	70	MC
19	NF	45	MP	71	MC
20	NF	46	NF	72	MC
21	MC	47	NF	73	MP
22	NF	48	NF	74	MC
23	MC	49	NF	75	MC
24	NF	50	NF	76	MP
25	NF	51	NF	77	MC
26	NF	52	NF	78	MP