UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES

**SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS:
AVALIAÇÃO DE CAMPO, MODELO DE DESEMPENHO E
ANÁLISE ECONÔMICA**

FÁBIO ZANCHETTA

São Carlos
2017

Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos: Avaliação de Campo, Modelo de Desempenho e Análise Econômica

Fábio Zanchetta

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes.

Área de Concentração: Infraestrutura de Transportes.

Orientador: Prof. Titular José Leomar Fernandes Júnior.

São Carlos

2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

ZANCHETTA, FÁBIO
z27s SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS:
 AVALIAÇÃO DE CAMPO, MODELO DE DESEMPENHO E ANÁLISE
 ECONÔMICA / FÁBIO ZANCHETTA; orientador JOSÉ LEOMAR
 FERNANDES JÚNIOR. São Carlos, 2017.

 Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes e Área de Concentração em
Infraestrutura de Transportes -- Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

 1. GERÊNCIA DE PAVIMENTOS. 2. PAVIMENTOS URBANOS.
3. AVALIAÇÃO DE CAMPO. 4. MODELO DE DESEMPENHO. 5.
ANÁLISE ECONÔMICA. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Tecnólogo **FÁBIO ZANCHETTA**.

Título da tese: "Sistema de gerência de pavimentos urbanos: avaliação de campo, modelo de desempenho e análise econômica".

Data da defesa: 04/08/2017.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Titular **José Leomar Fernandes Júnior**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof. Dr. **José Weissmann**
(Universidade do Texas/UTSA)

APROVADO

Profa. Dra. **Eliane Viviani**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADO

Prof. Dr. **Antonio Fortunato Marcon**
(Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC)

APROVADO

Profa. Dra. **Heliana Barbosa Fontenele**
(Universidade Estadual de Londrina/UEL)

APROVADO

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes:

Profª. Associada **Ana Paula Camargo Laroocca**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Associado **Luis Fernando Costa Alberto**

*Este não é o fim, nem mesmo o
começo do fim. Mas este é o fim do
começo.*

Winston Churchill

AGRADECIMENTOS

Ao orientador professor José Leomar, por toda essa longa jornada desde o mestrado. São muitos anos de amizade, risadas e muito trabalho duro também. Só não vimos o Palmeiras ser campeão mundial. A vida profissional muitas vezes limitou o tempo dedicado à tese, mas o prazo alongado favoreceu o amadurecimento e permitiu enriquecer as análises devido ao incremento de dados disponíveis.

A toda minha família, em particular à minha mãe, Antonia, sempre me “empurrando” para concluir a tese durante os telefonemas de final de semana.

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida no Brasil e no exterior, fundamental para a conclusão desta tese.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Transportes, da secretaria da pós-graduação e da graduação, do laboratório, Paulo, João, Carlos e, em especial ao Gigante, pelos momentos de descontração no laboratório (do qual nunca fiz parte, mas sempre frequentei).

Aos professores do Departamento de Engenharia de Transportes, pelo apoio, ensino, incentivo e companheirismo, em especial aos professores Glauco e Manoel Sória.

Aos amigos do Departamento de Transportes, pela amizade, convivência e ajuda nos trabalhos, em especial ao Carlos Prado, André, Cira, Ana, Adalberto, Pablo, Massulo, Edgar, Rafael, Luis, Vivian e Jesner.

Ao professor Dr. José Weissmann, da Universidade do Texas em San Antonio, supervisor do estágio no exterior. Sempre de bom humor, bastante preciso e claro em suas análises e que muito contribuiu para a realização desta tese.

À Prefeitura de San Antonio, em especial ao gerente de manutenção viária, “Milton”, que ajudou na pesquisa e forneceu dados sobre o SGPU da cidade.

Aos amigos do Centro Universitário Dinâmica das Cataratas - UDC, pela convivência na jornada acadêmica, em especial aos amigos Professores Ms. Adriano Risson, Dr. Everaldo Pletz, Ms. Radames Giona, e aos Diretores Prof. Dr. Fábio Hauagge Prado e Profª Rosicler Hauagge do Prado. Aos funcionários da UDC, em especial à Cristina, que muito auxiliou na secretaria e com quem tive muitas lições de vida.

À Novacap, pela disponibilização dos dados referentes ao SGPU do Distrito Federal. Ao Eng. Civil Dr. José Fázio, pela amizade e dicas acadêmicas. Aos funcionários da Divisão de Apoio Técnico – Diatec da Novacap, aos eng. Civil Leandro e José Flávio e em especial à Tecnóloga em Geoprocessamento Paula Fernandes, pela amizade e ajuda com o SGPU-SIG da Novacap, que muito contribuiu para as discussões e na elaboração de mapas temáticos e simulações de priorização das vias urbanas do Distrito Federal. Ao professor Coimbra, hoje secretário de obras do Distrito Federal, pelo apoio nas pesquisas realizadas na Diatec.

À Sete engenharia, em especial ao Anderson Mattiola, responsável pela Tecnologia da Informação –TI da empresa que, em parceria com a USP de São Carlos e o Governo do Distrito Federal, implantou o SGPU.

É difícil lembrar de todos. O caminho para a conclusão da tese não é uma ária, mas sim uma grande peça, em diversos atos, cheia de participações especiais. Devo me desculpar se esqueci de alguém, e esqueci, logo, me desculpo.

RESUMO

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

As vias pavimentadas se deterioram com o passar do tempo, por ação das cargas do tráfego e das intempéries. Por isso necessitam de intervenções (atividades de Manutenção e Reabilitação – M&R). No Brasil é mais comum que sejam realizadas apenas operações tapa-buracos e recapeamentos. São soluções sem eficiência técnica ou econômica. Uma alternativa mais racional e já em uso em países desenvolvidos é um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos – SGPU. Os objetivos desta tese são apresentar uma proposta para avaliação da condição de vias urbanas com base na identificação dos defeitos da superfície do revestimento, um modelo de previsão de desempenho de vias urbanas com base em séries históricas obtidas no Município de São Carlos e uma análise econômica com a simulação de diferentes cenários para diferentes opções de M&R. Ainda como objetivos desta tese estão a apresentação das vantagens de utilizar um Sistema de Informações Geográficas – SIG, em uso no SGPU do Distrito Federal. Com base nos resultados encontrados, pode-se inferir que a avaliação de campo pode ser mais eficiente se forem considerados menos defeitos e os critérios de severidade e extensão forem fixados, com menos critérios subjetivos do avaliador. Considerando-se as estratégias de M&R adotadas pela Prefeitura Municipal de São Carlos e, ainda, de acordo com as avaliações de campo, pôde-se verificar que os pavimentos necessitam de Reforço Estrutural após 6 anos da sua construção. Os custos de manutenção, ao longo do tempo, são influenciados pela escolha da M&R a ser aplicada na preservação das vias e, também, pela época em que são realizadas, sendo as manutenções preventivas menos onerosas. Nos Estados Unidos, por exemplo, particularmente na cidade de San Antonio, Texas, são realizadas manutenções preventivas e, nas corretivas, há rigoroso controle de qualidade, o que não se verifica nas cidades brasileiras. Um SGPU possui critérios de análise de dados que, aliados ao Sistema de Informações Geográficas – SIG, garantem clareza na apresentação dos resultados, tanto em mapas temáticos quanto em gráficos e planilhas. Os relatórios no padrão SGPU possibilitam solicitar recursos federais e internacionais para manutenção viária, como o Programa Asfalto Novo do DF, que obteve, no ano de 2013, R\$565 milhões para a pavimentação urbana. Em simulação de diferentes cenários de M&R, pôde-se concluir que a opção por tapa-buracos e recapeamentos é mais de duas vezes mais onerosa e mantém o pavimento em condição inferior ao que é possível com base nas técnicas de SGPU. Portanto, um SGPU proporciona benefícios socioeconômicos para toda a sociedade, com vantagens no médio e longo prazo e, ainda, mantém as vias em melhor condição.

Palavras Chave: Pavimentos Urbanos; Avaliação de Campo; Modelo de Desempenho; Análise Econômica; Sistemas de Gerência.

ZANCHETTA, F. Urban Pavement Management System: Field Evaluation, Prediction Model and Economic Analyses. 2017. Thesis (PhD). Escola de Engenharia e São Carlos, Universidade de São Paulo. 2017.

ABSTRACT

The paved roads deteriorate over time, due to traffic loads and bad weather. Therefore, they need interventions (Maintenance and Rehabilitation activities - M & R). In Brazil, it is more common to carry out only hole-hole operations and resurfacing. They are solutions without technical or economic efficiency. A more rational alternative already in use in developed countries is an Urban Pavement Management System - UPMS. In this thesis proposals are presented for the evaluation of urban road conditions based on defects of the surface of the coating, a performance prediction model and an economic analysis with the simulation of different scenarios for different M & R options. Data were analyzed from the Municipality of São Carlos, in the State of São Paulo and the Distrito Federal - DF. Based on the results, it can be inferred that the field evaluation can be more efficient if less defects are considered and the criteria of severity and extension are fixed, with less subjectivity on the part of the evaluator. Considering the M & R strategies adopted by the municipal government of São Carlos and also, according to the field evaluations, it was possible to verify that the pavements have a useful life of 6 years. The maintenance costs, over time, are strongly influenced by the choice of M & R to be applied in the preservation of roads and also by the time in which they are carried out. In the United States, for example, preventive maintenance is carried out and, in the correctives, there is strict quality control, which is not the case in Brazilian cities. An UPMS has data analysis criteria that, together with the Geographic Information System - GIS, guarantee clarity in the presentation of results, both in thematic maps and in charts and spreadsheets. The reports in the UPMS standard make it possible to request federal and international resources for road maintenance, such as the DF Asphalt New Program, which obtained R\$ 565 million for urban paving. In the simulation of different M & R scenarios, it was concluded that the option to cover holes and resurfacing is more than twice as expensive and keeps the pavement in a lower condition than is possible based on SGPU techniques. Therefore, an SGPU confers socio-economic benefits for the whole society, with advantages in the medium and long term, and also keeps the roads in better condition.

Key words: Urban Pavements; Field Evaluation; Prediction Model; Economic Analyses; Management Systems.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 Justificativa	20
1.2 Objetivos.....	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 Conceito do Sistema de Gerência de Pavimentos - SGP	23
2.2 Breve Histórico do SGP	26
2.3 Estrutura de um SGP	29
2.4 Vantagens do Uso de um SGP e Análise Econômica	30
2.5 Avaliação da Condição do Pavimento	36
2.6 Modelo de Previsão de Desempenho de Pavimentos.....	49
2.7 Atividades de Manutenção e Reabilitação e SGPU nas Cidades Brasileiras	52
2.8 O Método <i>PCI - Pavement Condition Index</i>.....	61
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	65
3.1 Introdução	65
3.2 Origem dos Dados do Município de São Carlos/SP.....	66
3.3 Obtenção do ICP com a Matriz de Valores Fixos	73
3.4 Elaboração de Planilha para Controle de Custos	79
3.5 Desenvolvimento do Modelo de Previsão de Desempenho dos Pavimentos.....	83
3.6 Origem dos Dados com Base no SGPU do Distrito Federal	83
3.7 Origem dos Dados da Cidade de San Antonio, Texas, Estados Unidos ...	93
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DE SÃO CARLOS/SP E DE SAN ANTONIO, TEXAS, EUA	95
4.1 Análise dos resultados dos dados do Município de São Carlos	95
4.2 Análise dos dados de uma amostra de 220 segmentos avaliados em 2003, 2005 e 2007 no município de São Carlos	99

4.3 Considerações sobre procedimentos para avaliação da condição das vias pavimentadas em áreas urbanas	104
4.4 Proposta de um modelo de previsão de desempenho para pavimentos urbanos com base nos dados de São Carlos	116
4.4.1 <i>Elaboração de modelo de previsão de desempenho com dados da amostra de 220 segmentos e com as avaliações de 2003 e 2005. Dados de 2003 organizados pelo ICP Objetivo.....</i>	117
4.4.2 <i>Elaboração de modelo de previsão de desempenho com dados da amostra de 220 segmentos e com as avaliações de 2003 e 2005. Dados de 2003 organizados pelo ICP Subjetivo.....</i>	119
4.4.3 <i>Validação do modelo de previsão de desempenho de pavimentos. Dados das avaliações de 2005 organizados pelo ICP Objetivo</i>	120
4.4.4 <i>Validação do modelo de previsão de desempenho de pavimentos urbanos. Dados das avaliações de 2005 organizados pelo ICP Subjetivo</i>	124
4.5 Análise econômica para previsão de recursos necessários para atividades de M&R com base nos dados de São Carlos	129
4.6 Atividade de M&R em São Carlos/SP e San Antonio, Texas, EUA.....	137
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS DO DISTRITO FEDERAL.....	155
5.1 Sistema viário do Distrito Federal, implantação do SGPU e Programa Asfalto Novo.	155
5.2 Dados referentes aos estudos para apoio à decisão para uma licitação de manutenção preventiva e corretiva.	174
5.3 Estudo de caso – Região Administrativa Brasília - Plano Piloto.....	182
5.4 Efeitos do Programa Asfalto Novo nas Vias do Distrito Federal	201
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	207
6.1 Conclusões	207
6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros	215
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	217
APÊNDICE 1 - CÁLCULO DO PCI.....	223

1. INTRODUÇÃO

A malha viária pavimentada de um país representa um grande investimento da sociedade ao longo tempo e uma parcela significativa de seu patrimônio. As vias pavimentadas, sob efeito do tráfego e das intempéries, se desgastam e tem sua capacidade de servir ao tráfego diminuída. Como consequência, necessitam, de tempos em tempos, de manutenção e reabilitação. Os procedimentos adotados pela maioria das prefeituras municipais brasileiras para conservação de sua malha pavimentada incluem comumente apenas duas opções: operações tapa-buracos e recapeamentos. Essas duas opções resultam em pavimentos de alto custo para a sociedade e que muitas vezes apresentam defeitos em excesso em sua superfície.

Pode-se aumentar a eficiência da tomada de decisão com atividades de Manutenção e Reabilitação (M&R) que vão além do convencional “primeiro o pior”. O grande dilema dos administradores das redes viárias está em como manter a malha pavimentada em uma condição razoável com os recursos disponíveis.

Para se conservar o patrimônio público e os recursos investidos em pavimentação urbana, é importante aprimorar os procedimentos de gerência das vias e usar técnicas atuais, racionais, como por exemplo, um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos - SGPU. O pavimento deve ter seu desempenho acompanhado e as manutenções preventiva e corretiva devem ocorrer na época correta. A adoção de procedimentos simples como selar trincas pode prolongar bastante a vida útil do pavimento e diminuir os custos de reparo ao longo do tempo. A qualidade da via tem impacto direto na segurança, conforto e custos de operação dos usuários. Um SGPU não é comum no Brasil e não há normas ou legislação específica para sua implementação e uso continuado.

Para ser implantado, um SGPU necessita, no mínimo, de:

- Alocação de recursos financeiros;
- Equipe motivada e capacitada;
- Equipamentos para avaliação em campo e análise dos dados coletados em campo;
- Inventário das vias;

- Avaliações em campo para identificar defeitos da superfície e/ou a condição estrutural;
- Estudos para estimativa de desempenho das vias pavimentadas;
- Programação das atividades de M&R mais adequadas;
- Aplicação da alternativa de M&R escolhida, e
- Realimentação dos dados.

Uma vez disponibilizados os recursos financeiros para a implantação de um SGPU, a formação e manutenção de equipes para avaliação em campo é uma das primeiras e principais necessidades para a gerência de vias urbanas. A avaliação em campo pode ser realizada com base na condição estrutural, na irregularidade longitudinal, na textura da superfície ou, ainda, com base nos defeitos identificados na superfície do pavimento. Nas vias urbanas o mais comum é avaliar os defeitos da superfície.

O desempenho de uma via pavimentada, cuja definição é a variação da condição do pavimento ao longo do tempo, pode ser verificado por meio da análise de séries históricas de avaliações em campo. Com os resultados das avaliações em campo e com base no desempenho esperado, pode-se usar planilha eletrônica e uma árvore de decisões para definir quais atividades de M&R devem ser adotadas e quando devem ser realizadas. Assim é possível um planejamento de médio e longo prazo. Com o auxílio de um programa de Sistemas de Informações Geográficas com aplicações a Transportes – SIG T é possível simular e visualizar a evolução de diferentes cenários para diferentes atividades de M&R adotadas e escolher aquela que melhor atende às necessidades da população e se adequa aos recursos disponíveis.

1.1 Justificativa

O aumento da frota de veículos e da demanda por vias que ofereçam qualidade não é acompanhado por investimentos na ampliação e manutenção da malha pavimentada urbana nas cidades brasileiras. Devido a falta de legislação específica para a gerência de pavimentos urbanos no Brasil e, com isso, a consequente deficiência no planejamento das atividades de M&R, o uso dos limitados recursos

financeiros não é otimizado e a condição da malha pavimentada urbana poderia ser melhor.

A adoção e uso continuado de um SGPU traz benefícios econômicos e operacionais principalmente no médio e longo prazo. Isso pode ser um problema devido ao fato de no Brasil não haver política de Estado, mas apenas política de governo. As alternâncias político-partidárias levam a constantes alterações das diretrizes na gestão pública e dos recursos humanos e financeiros disponíveis.

Para a gerência dos pavimentos urbanos é necessário conhecer a condição atual da malha pavimentada, prever a condição futura e alocar os recursos necessários para as manutenções previstas. Para alcançar esse objetivo, são propostos um procedimento de avaliação de campo, um modelo de desempenho do pavimento urbano e uma planilha para controle e acompanhamento das necessidades orçamentárias.

Para contribuir na divulgação, entendimento e exemplo de soluções de manutenção e reabilitação – M&R para vias urbanas, esta tese analisa um SGPU com base em dois estudos de caso, São Carlos/SP e todo o Distrito Federal/DF. São analisadas as principais considerações sobre implantação, avaliação de campo, critérios de escolha e tipos de M&R para vias urbanas, desempenho das vias pavimentadas e análise econômica com base em diferentes cenários para que as administrações públicas se sensibilizem e se convençam das vantagens de implantar e usar continuamente um SGPU com vantagens para toda a sociedade.

1.2 Objetivos

O objetivo geral desta tese é contribuir para a implantação e uso continuado de um SGPU no Brasil. A avaliação de campo, a previsão de desempenho e a análise econômica são o foco desta tese.

Os objetivos específicos são:

- 1 Propor procedimento para avaliação em campo dos defeitos da superfície de pavimentos flexíveis em áreas urbanas. A avaliação deve ter alta produtividade, qualidade suficiente para a gerência de pavimentos em nível de rede e ser compatível com o dia-a-dia da maioria das prefeituras brasileiras.
- 2 Definir um modelo para previsão do desempenho das vias urbanas com base em séries históricas da malha pavimentada do município de São Carlos/SP que seja facilmente adaptável a outros municípios brasileiros.
- 3 Apresentar planilha eletrônica para controle e acompanhamento dos custos envolvidos ao longo da vida útil dos pavimentos. A mesma planilha pode ser utilizada para simular e verificar as consequências de diferentes opções de M&R.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados:

- ✓ Conceito de Sistema de Gerência de Pavimentos - SGP: definição e principais atividades envolvidas;
- ✓ Breve histórico do SGP: início da preocupação para desenvolver um conjunto racional de atividades de manutenção e reabilitação das vias pavimentadas;
- ✓ Estrutura: como um SGP pode ser organizado;
- ✓ Vantagens do uso do SGP e análise econômica: como a adoção de um SGP influi nos custos das manutenções;
- ✓ Índice de Condição do Pavimento - ICP: escolha do indicador que representa a condição da via pavimentada;
- ✓ Modelo de previsão de desempenho: importância e métodos de estimativa; e
- ✓ Atividades de Manutenção e Reabilitação e SGPU nas Cidades Brasileiras.

2.1 Conceito do Sistema de Gerência de Pavimentos - SGP

A gerência de pavimentos é um conjunto de atividades de planejamento, projeto, construção, manutenção e reabilitação do pavimento em um programa público de serviços. Um Sistema de Gerência de Pavimentos - SGP pode fornecer uma metodologia organizada para ajudar quem toma decisões a encontrar estratégias ótimas para manter o pavimento em condições aceitáveis durante um certo período de tempo. A função de um SGP é melhorar a eficiência da tomada de decisão, expandir seu escopo, possibilitar a realimentação dos dados e manter a consistência das decisões tomadas em diferentes níveis da mesma organização. O detalhamento da estrutura de um SGP depende de quão organizada é a agência que irá implementá-

lo. Entretanto, um aplicável controle da rede viária pode ser estabelecido sem considerar todos os detalhes da estrutura da agência (HUDSON *et al*, 1992).

As considerações conceituais de um SGP, ainda que desenvolvidas com vistas ao pavimento rodoviário, são válidas para pavimentos urbanos e, com alguns ajustes, pode-se obter um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU), que é o foco desta tese.

O sistema de transportes se desenvolveu rapidamente nas últimas décadas e atualmente representa uma quantia considerável de investimentos. Como a intensidade de uso e idade aumentam com o passar do tempo, a necessidade de melhorar essa benfeitoria tornou-se essencial. O objetivo fundamental de um SGP é oferecer o pavimento em condições aceitáveis ao menor custo considerando toda sua vida útil (ALLEN *et al.*, 1992).

Nas prefeituras municipais do Brasil é mais comum que sejam considerados apenas os custos iniciais para construção ou manutenção das vias. Essa atitude pode conduzir a administração pública a tomar decisões que tem pouca eficiência econômica, ou seja, adotar soluções com pouca durabilidade e precoce necessidade de investimentos adicionais. Enquanto a mentalidade dos administradores públicos não evoluir para um conceito de análise de toda vida útil dos pavimentos e não apenas tomar decisões com base nos custos iniciais, as cidades brasileiras podem continuar com vias de tráfego em condições ruins. A melhor opção é utilizar um sistema organizado de tomada de decisões com base na estrutura de um SGPU.

O aperfeiçoamento da infraestrutura de transportes geralmente aumenta o padrão de vida e valoriza a comunidade. Nos Estados Unidos, por exemplo, os sistemas de transportes têm sido moldados pela legislação de acordo com o curso do desenvolvimento histórico. Como os investimentos do governo representam bilhões de dólares ao longo de décadas, tem sido intensificado o uso de sistemas de gerência de pavimentos para preservar o capital investido (HUDSON, 1997).

Normalmente, o capital disponível para a conservação da malha viária é inferior às necessidades, o que força os administradores a tomarem decisões, optar pela

recuperação de um trecho em detrimento de outro. Segundo Haas *et al.* (1994), para maximizar o capital disponível, deve-se fazer uma abordagem que seja organizada, sistemática e compatível com os serviços do dia-a-dia do organismo rodoviário. Um Sistema de Gerência de Pavimentos é a melhor opção para este fim, pois seu principal objetivo é utilizar os recursos disponíveis e oferecer aos usuários o pavimento na melhor condição possível.

Segundo apresentado por Shahin (1994), os pavimentos precisam ser gerenciados, não somente mantidos. Embora seja difícil mudar a forma como os pavimentos são tratados hoje, será mais difícil explicar para as gerações futuras como houve falha em gerenciar os recursos e preservar a infraestrutura viária. Ainda segundo Shahin (1994), quando questionados sobre por que não utilizam as mais recentes técnicas de gerência de pavimentos, uma das respostas dos responsáveis é que não podem dispor dos recursos para inspeções e que preferem usar o dinheiro para reparar o pavimento. Não entenderam que gerência de pavimento pode ser apresentada como: “invista agora ou pague muito mais depois”. Apesar de ser um texto publicado há mais de 20 anos ainda é bem atual para a realidade brasileira.

Por considerar o pavimento uma questão importante e para forçar a adoção de um SGP, de acordo com Papet (1992), o *Federal Highway Administration (FHWA)*, nos Estados Unidos da América, emitiu três mandatos. O primeiro diz respeito aos critérios de projeto, em que as agências estaduais devem adotar projetos de pavimento e deixar de lado os critérios usuais (“de ouro”) utilizados nas últimas décadas. O segundo mandato determina que as agências estaduais devem desenvolver processos de seleção de materiais para justificar os materiais específicos empregados nos projetos que recebem ajuda federal. O terceiro mandato, considerado o mais importante, determina que todas as agências estaduais devem ter um Sistema de Gerência de Pavimentos compreensível, que seja aceito pelo *FHWA*. O prazo para implementação foi de quatro anos.

Ainda de acordo com Papet (1992), foi enviado questionário aos estados para verificar o progresso em relação a implementação do SGP. Um dos mais importantes elementos necessários para um aceitável SGP é o inventário. Os tipos de serviços de manutenção e reabilitação (M&R) realizados pelas agências incluem, em sua maioria,

reabilitação, seguido de reconstrução e manutenção. Um bom SGP deve ser capaz de prever o desempenho. Para obter o desempenho, o *FHWA* se vale de quatro itens. Qualidade de Rolamento, Defeitos, Atrito e Deflexão.

Com base na experiência internacional é possível inferir que a adoção e uso continuado de um SGP ou SGPU trás benefícios para toda a sociedade com redução de custos e melhoria da condição das vias.

2.2 Breve Histórico do SGP

Conforme apresentado por Carey e Irick (1960), durante as décadas de 1950 e 1960 foi realizado nos Estados Unidos o *AASHO (American Association of State Highway Officials) Road Test*, o maior programa de pesquisa rodoviária até então – 27 milhões de dólares. A partir de pistas experimentais foi observado o desempenho de vários tipos de estruturas de pavimentos e surgiu a preocupação em manter e gerenciar as vias.

O *AASHO Road Test* foi planejado entre 1951-1954. Teve o início dos trabalhos topográficos entre 1955-1956. A pista experimental foi construída entre 1956-1958. O monitoramento dos trechos ocorreu entre 1958-1960. A partir de 1961 foram publicados seus resultados.

De acordo com Amekudzi e Attoh-Okine (1997), muitos estudos foram realizados posteriormente ao *AASHO Road Test* sobre gerência de pavimentos. Apesar disso, sua implantação encontrou grande resistência. Alguns organismos que implantaram um SGP tiveram sucesso por meio de esforços solitários de entusiastas do novo processo de tomada de decisão.

Durante as décadas de 1970 e 1980, nos Estados Unidos, houve dificuldade para os organismos rodoviários implantarem sistemas de gerência de pavimentos. Os principais desafios eram institucionais (pessoas e procedimentos). É atribuído às questões institucionais o insucesso de várias tentativas de implantação de SGP, com recomendação de muita atenção a este item (AMEKUDZI e ATTOH-OKINE, 1997).

O estilo exato e o tipo de organização de gerência dependem, frequentemente, mais da prática histórica da agência em si do que da necessidade ou realidade. Infelizmente, os organismos públicos não perceberam a importância de avaliar o desempenho, de fazer manutenção programada, nem de outras questões relevantes para a gerência dos recursos (HUDSON, 1997).

Para Allen *et al.* (1992) o desenvolvimento de metodologias e procedimentos do SGP dependem da estrutura da organização que irá implantá-lo, mas Lee (1992) lembra que independentemente das dificuldades é necessário um padrão nacional para avaliações de campo e todos os demais itens do SGP. No estado do Kentucky, EUA, o departamento de transportes faz coleta de dados referentes aos defeitos da superfície, capacidade estrutural, histórico de desempenho e desenvolve modelos para prever o comportamento do pavimento. A realimentação de dados torna o SGP um processo sempre em evolução. Dentro da estrutura do departamento de transportes do Kentucky há um centro de pesquisa para análise dos dados do SGP, além de desenvolvimento de pesquisas em parceria com organizações nacionais, tais como *Transportation Research Board (TRB)*, *American Association for Testing and Materials (ASTM)*, *Strategic Highway Research Program (SHRP)* e o *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)*.

Nos Estados Unidos, o *FHWA* promove inovações e os estados seguem os conceitos. Em 1986 foi criada a Divisão de Pavimentos. Sua prioridade foi o projeto de pavimentos. Após, o número de integrantes aumentou e foi incluída uma Divisão de Gerência de Pavimentos. Como os estados dependem da implementação de um SGP para receber recursos federais, o *FHWA*, em parceria com o *Transportation Research Board (TRB)* e a *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, promoveu uma série de cursos sobre SGP para treinar engenheiros das agências estaduais e federal (NOSTRAND, 1992).

No Brasil é tímida ainda a integração entre centros de pesquisa – Universidades e o poder público, seja federal, estadual ou municipal. Esforços isolados buscam promover SGP (ou SGPU), mas nem sempre há continuidade. O município de São Carlos, interior do estado de São Paulo, promoveu, em 2003 (véspera de eleições

municipais), em parceria com a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – EESC/USP, a avaliação de toda malha viária da cidade. O objetivo foi iniciar a implementação de um SGPU, porém, passadas as eleições, não houve continuidade. Apenas se investiu recursos em avaliações que nunca serviram de referência para a tomada de decisão. Essa situação é um exemplo da falta política de Estado e como os recursos podem ser mal aplicados.

São raras as parcerias entre governo e centros de pesquisa, mas um exemplo positivo foi a parceria entre a Prefeitura Municipal de Anápolis, no estado de Goiás, e a EESC/USP, que desenvolveram e implementaram um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos. O processo foi longo e cheio de dificuldades. Os assuntos institucionais representaram barreira e merecem especial atenção (DE OLIVEIRA, 2013).

A partir da década de 1950 o mundo apresentou um crescimento na circulação de veículos de carga e, em países desenvolvidos, da malha viária pavimentada. No Brasil, o mesmo aumento de demanda não veio seguido dos investimentos necessários, o que aumenta os custos de operação e de reparo das vias (Matos, 2004). Diante desse cenário, é imprescindível a parceria, efetiva, entre centros de pesquisa e o poder público na busca de melhores alternativas para manutenção das vias pavimentadas.

No Brasil, os órgãos municipais responsáveis pela manutenção viária trabalham com orçamentos inferiores às necessidades, o que prejudica a implantação de um SGPU, diminui a eficiência da tomada de decisão, prejudica a realimentação de dados e o desenvolvimento de modelos de previsão do desempenho (HANSEN, 2008).

Nos municípios brasileiros há dificuldade para encontrar dados de inventário, tais como geometria da via, ano de construção, espessura e materiais constituintes da estrutura e histórico de manutenções, conforme apontado por Zerbini (1999), Causin (2001), Zanchetta (2005), Lima (2007), Hansen (2008), De Oliveira (2013) e Paéz (2015). Muitas vezes a informação de idade das vias depende da lembrança de funcionários antigos dos órgãos municipais.

2.3 Estrutura de um SGP

Convencionalmente, o processo de tomada de decisão de um SGP (ou de um SGPU) é dividido em nível de rede e nível de projeto. No nível de rede são realizadas avaliações e definidos os segmentos prioritários que receberão alguma manutenção. No nível de projeto são definidos, por exemplo, o tipo de camada e a espessura de um reforço estrutural.

De acordo com Amekudzi e Attoh-Okine (1997), literaturas introduzem um novo modelo de SGP com três níveis, diferenciando o nível de rede em nível de programa e nível de seleção de projetos, como segue abaixo:

- Nível de Programa: envolve planejamento e alocação de recursos para otimização da rede;
- Nível de Seleção de Projeto: hierarquiza projetos candidatos, levando em conta as restrições orçamentárias;
- Nível de projeto: detalha as atividades (por exemplo, o dimensionamento de reforço) a serem implementadas em projetos específicos, escolhidos no nível de seleção de projeto.

É possível, ainda, subdividir o SGP para necessidades específicas. De acordo com Helali (2005), o SGP do departamento de transportes do estado de Nova Jersey, nos EUA, inclui quatro subsistemas: subsistema de gerência da base de dados, subsistema de análise da rede, subsistema de análise e planejamento de projetos e subsistema de realimentação dos dados.

- O subsistema gerência da base de dados fornece dados de inventário além de várias funções chave. Algumas ferramentas básicas incluem armazenar, atualizar, editar e realizar cálculos estatísticos sobre as características da malha viária. Outra importante função é o controle de acesso a diferentes itens da base de dados.
- O subsistema análise da rede envolve a otimização das atividades de manutenção e reabilitação da rede com base nas restrições dos dados de entrada. As restrições podem incluir o capital disponível, restrições de

desempenho e avanço ou atrasos máximos ou ainda uma combinação de fatores.

- O subsistema análise e planejamento de projetos tem como função avaliar e comparar diferentes alternativas de projeto para permitir a escolha da melhor opção. A alternativa ótima é escolhida com base na análise do ciclo de vida, assim como no desempenho das diferentes alternativas. Os fatores considerados na análise de ciclo de vida são o custo direto da agência e os custo dos usuários.
- O subsistema análise dos dados e realimentação fornece funções para analisar a base histórica de dados e a eficiência de diferentes atividades de manutenção e reabilitação e, assim, determinar de maneira adequada os coeficientes para o modelo de desempenho.

Um SGP deve ser capaz de ser utilizado ao todo ou em parte por vários níveis da gerência na tomada de decisão, considerando-se projetos individuais e a rede completa. Todo tipo de decisão deve ser considerada por um genérico SGP, incluindo aquelas relacionadas às necessidades de informação, de melhorias para a rede como um todo, capital necessário, programação das atividades, pesquisa, dimensionamento de projeto, construção e manutenção, monitoramento etc. Todos os componentes de um SGP são essenciais mas não precisam estar ativos ao mesmo tempo (HUDSON *et al*, 1992).

2.4 Vantagens do Uso de um SGP e Análise Econômica

Shahin (1994) relata que a melhor alternativa de conservação ainda é a implantação de um SGP, ou seja, ter um inventário da infraestrutura, avaliar a condição existente e prever a futura, determinar os recursos necessários para manter a rede em um nível aceitável, identificar os trabalhos necessários, priorizar projetos e otimizar os gastos com as atividades de manutenção e reabilitação. No mesmo sentido, Al-Abdul *et al.* (2002) afirmam que o meio mais efetivo de preservar a malha viária é implantar um compreensível programa de manutenção.

A Figura 2.1 mostra que as intervenções no pavimento aumentam sua vida útil, e que, sem manutenção adequada, a serventia diminui cada vez mais rápido e o custo é bem maior quando de uma intervenção. Serventia pode ser definida como a capacidade de um pavimento servir ao tráfego naquele instante.

Figura 2.1: Índice de serventia ao longo do tempo ou com o tráfego acumulado. Fonte: Haas *et al.* 1994.

O departamento de transportes de New Jersey (NJDOT) estabeleceu uma estratégia de preservação do pavimento com ênfase na manutenção preventiva, avançando em relação à abordagem existente de “primeiro o pior”. Para ser capaz de implementar o programa e mostrar seus benefícios, esse conceito foi integrado ao seu sistema de gerência de pavimentos. O *Federal Highway Administration* (FHWA) define a preservação de pavimento como “um programa de atividades focado em preservar o investimento no sistema viário”, com melhora do desempenho do pavimento, extensão de sua vida útil e atendimento às necessidades dos usuários. Nessa perspectiva, a manutenção preventiva tem um papel chave, mas também são incluídas atividades mais imediatas, como selagem de trincas (HELALI, 2005).

Outros estados dos EUA possuem seus SGP bem documentados. O estado de Nova York, por exemplo, fez a comparação de duas formas de manter o pavimento. O período analisado foi de 24 anos. Na primeira alternativa seriam feitas manutenções preventivas com preenchimento e selagem de trincas nos anos 4, 8, 16 e 20, e uma camada de reforço estrutural em concreto asfáltico com espessura de 4cm nos anos

12 e 24. A segunda alternativa não prevê nenhuma manutenção preventiva e uma completa reconstrução ao final de 24 anos. O resultado da análise mostrou que a primeira alternativa é 3,65 vezes mais econômica e, selar trincas, em geral, aumenta a vida útil em até 4 anos (HELALI, 2005).

Com procedimentos simples e de relativo baixo custo como selar trincas ou aplicar camadas como lama asfáltica pode-se proteger a estrutura do pavimento da infiltração de águas das chuvas com postergação do surgimento de panelas. O resultado pode ser a economia de recursos financeiros aos cofres públicos municipais ao longo dos anos. Ao mesmo tempo pode manter a malha viária em melhor condição para os usuários. Parece bastante óbvio mas não é o que se verifica nos pavimentos urbanos no Brasil.

O departamento de transportes de Michigan conduziu uma série de estudos em um período de 5 a 7 anos e concluiu que a selagem de trincas aumenta a vida do pavimento em 3 anos. O departamento de transportes da Georgia desenvolveu seu programa de manutenção preventiva no início dos anos 80. Foram investidos cerca de US\$200 milhões em preservação a cada ano. A condição do pavimento é documentada todo ano. A média da condição do pavimento é de 87 em uma escala que varia de 0 a 100. Após 25 anos de programa, os gastos são 2,5 vezes menores do que no início do programa. Um período relativamente longo é necessário até que o benefício de um programa de manutenção preventiva apresente resultados em termos de melhoria da condição do pavimento (HELALI, 2005).

Para o controle e acompanhamento da eficiência das atividades de M&R é necessário usar um recurso computacional, como por exemplo, uma planilha eletrônica, disponível na maioria das prefeituras municipais. É necessário registrar as atividades de M&R realizadas e seus custos, criando um banco de dados para análises futuras, as quais poderão sugerir a continuidade do conjunto de atividades atual ou pode sugerir que seja encontrada outra alternativa. A análise econômica, que verifica a qualidade do pavimento e os custos ao longo do tempo, é fundamental para garantir o sucesso de um SGPU.

Para que seja alcançado o objetivo de implantação e uso continuado de um SGPU no Brasil são necessárias algumas etapas. A primeira e mais importante etapa é o apoio da administração pública em garantir recursos financeiros e humanos e manter a política de Estado e os interesses públicos acima e independentes da política de governo. Caso contrário, as soluções emergenciais continuarão prevalecendo em detrimento de projetos de médio e longo prazo mais eficientes. Sem um orçamento robusto e continuado ao longo dos anos é difícil ao administrador planejar adequadamente as atividades de manutenção para a malha viária. É mais comum observar nos municípios brasileiros um orçamento que varia bastante seus investimentos ao longo dos anos e um grande volume de obras próximo às eleições.

No município de São Carlos, interior do estado de São Paulo, por exemplo, o orçamento municipal aumenta ano a ano, mas não se verifica o mesmo comportamento no orçamento destinado à manutenção de vias, conforme se verifica na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Orçamento de São Carlos e investimentos em manutenção de vias ao longo dos anos. Fonte: Autor.

ANO	ORÇAMENTO EM MANUTENÇÃO VIÁRIA	ORÇAMENTO TOTAL MUNICÍPIO	% DO TOTAL EM PAVIMENTAÇÃO
2006	7.506.999,00	148.393.361,74	5,06
2007	8.856.500,00	170.174.549,36	5,20
2008	12.515.000,00	253.691.959,47	4,93
2009	15.603.888,88	295.230.519,07	5,29
2010	29.090.700,00	609.647.925,56	4,77
2011	45.468.145,87	412.117.446,19	11,03
2012	3.507.210,00	463.121.800,00	0,76
2013	4.332.599,00	549.924.194,09	0,79
2014	3.000.000,00	517.181.167,55	0,58
2015	28.537.102,61	584.430.660,84	4,88
2016	12.615.408,17	573.355.256,34	2,20

Desde 2006 o orçamento para manutenção viária é de aproximadamente 5% do total, com um pico em 2011, porém, nos anos de 2012 a 2014 a porcentagem foi inferior a 1%. Com essa situação não se pode planejar atividades de M&R adequadamente,

com prejuízos para a população, que percebe a condição da malha viária se deteriorar e, pior, dependente de operações tapa-buracos e de recapeamentos. De modo complementar ao orçamento do município, houve R\$2.195.625,00 em convênios com o Ministério das Cidades por meio da Caixa Econômica Federal, Programas Sociais. No ano de 2012, pela mesma origem de recursos, São Carlos recebeu R\$4.446.300,00, porém, esses recursos dependem de movimentos políticos e nem sempre são possíveis de serem obtidos. Muitas vezes o alinhamento político entre Prefeitura Municipal e Governo Federal pode influenciar a liberação de recursos. Os valores podem ser verificados no site Portal da Transparência do Governo Federal, em “Convênios”. A consulta foi realizada em 16/04/2017 (<http://www.portaltransparencia.gov.br/convenios/consultam.asp?fcod=7079&fuf=sp&forgao=00&fconsulta=0>).

Nas Figuras 2.2 e 2.3 são apresentados dois gráficos que ilustram a variação dos investimentos em manutenção viária e o orçamento total do município de São Carlos.

Pode-se verificar que há grandes picos de investimentos em M&R viária como nos anos de 2010, 2011 e 2015, ao contrário dos valores do orçamento total que apresentam um crescimento quase linear, com exceção do ano de 2010 que apresentou um grande salto no valor total do orçamento.

O orçamento para M&R chegou a 45 milhões de reais no ano de 2010 e sequer chegou a 5 milhões de reais nos três anos seguintes. Os anos que precedem eleições municipais, 2011 e 2015, apresentaram valores disponíveis para pavimentação bem superiores aos demais anos pós eleições. Esta é uma evidência da influência política na área técnica.

Após as eleições municipais de 2012 verificou-se um decréscimo no total de recursos destinados à conservação viária. Com essa oscilação dos investimentos em função de critérios políticos em oposição aos critérios técnicos de engenharia, tem-se como resultado pavimentos em má condição, como se observa nas cidades brasileiras de modo geral. Apesar dessa variação de orçamento ainda há iniciativas que visam ao uso de um SGPU. Nessa situação, uma vez decidido pela implantação de um SGPU, é necessário um inventário.

Figura 2.2: Orçamento total do Município de São Carlos ao longo dos anos. Fonte: Autor.

Figura 2.3: Orçamento para M&R viária em São Carlos ao longo dos anos. Fonte: Autor.

O inventário da rede viária deve conter informações cadastrais das vias, tais como as características geométricas das vias, com comprimentos e larguras, idade (ou ano de construção), estrutura do pavimento, histórico de manutenções, se é rota preferencial

(ônibus e/ou ambulâncias), classe funcional, localização entre outros. Hansen (2008) destaca a importância do inventário como ponto de partida para acompanhamento do desempenho dos pavimentos e compreensão dos mecanismos de deterioração.

2.5 Avaliação da Condição do Pavimento

Com os dados de inventário do pavimento, o próximo passo é a avaliação da condição da via em campo. Para Matos (2004), as avaliações realizadas em campo para a coleta de dados é a mais importante etapa para a implantação de um SGPU, pois dela dependem todas as etapas seguintes. Se não houver acurácia e precisão nas avaliações de campo todo o SGPU pode estar comprometido. É imprescindível treinar os avaliadores.

Segundo Heleven e Dirckx (1992), as consequências da manutenção na qualidade do pavimento e seus custos devem ser conhecidos para que se escolha a opção mais eficiente dentre as diferentes possibilidades. A primeira etapa é conhecer a condição atual e formar um banco de dados, com avaliações da estrutura, da aderência e dos defeitos da superfície. As atividades de manutenção e reabilitação - M&R visam melhorar o pavimento em três aspectos: segurança, conforto e estrutura.

De acordo com Clark e Moore (1992), com base nas avaliações de campo de um SGP é possível gerar relatórios, formular, justificar e explicar o programa em nível de rede e as decisões de investimento. O pavimento pode ser avaliado por diversos parâmetros, tais como qualidade de rolamento, capacidade de suporte de sua estrutura, defeitos presentes em sua superfície ou ainda em função da textura de sua superfície.

A qualidade de rolamento ("avaliação funcional") está associada principalmente ao conforto dos usuários. O principal fator é a irregularidade longitudinal (aceleração vertical) e pode ser medida pelo *International Roughness Index* – *IRI*, ou pelo Quociente de Irregularidade - *QI*. Esse segundo era mais comum no Brasil e pode ser obtido por correlação com o *IRI*. Atualmente a medição é realizada por equipamentos a laser.

A capacidade de suporte - condição estrutural do pavimento é comumente medida pela viga Benkelman ou pelo *Falling Weight Deflectometer* – *FWD*. A viga Benkelman é um equipamento que mede as deflexões da camada sob a ação da carga do eixo de um caminhão. Mais detalhes podem ser encontrados na Especificação DNER ME 024/94. O *FWD* é um equipamento servido por um sistema que aplica uma carga no pavimento e o impacto causa deformações que são medidas por geofones instalados em distâncias determinadas. Com esse equipamento é possível avaliar a capacidade de suporte de várias camadas da estrutura do pavimento. Os procedimentos deste ensaio podem ser encontrados na Especificação DNER PRO 273/96.

A avaliação da textura do pavimento caracteriza a superfície do pavimento do ponto de vista da segurança do usuário, a qual depende da capacidade de frenagem do veículo, associada ao atrito entre a superfície de rolamento e o pneu. Pode-se relacionar o atrito pneu-pavimento com sua macro e microtextura. Para medir a microtextura do pavimento pode-se utilizar o pêndulo britânico (*ASTM E303/93*), equipamento simples em que um pêndulo em balanço é atritado contra a superfície do pavimento. Outro equipamento é o *MU-Meter*, muito utilizado em pavimentos de aeroportos. Um reboque é puxado por um veículo com suas rodas em ângulo oblíquo e a medição do atrito é por meio de célula de carga (*ASTM E670/2000*). Já a macrotextura é aferida pelo ensaio de mancha de areia (*ASTM 965/96*).

Além da condição de conforto, associada ao IRI ou ao QI, da condição estrutural do pavimento e da textura, pode-se avaliar o pavimento em função dos defeitos presentes em sua superfície, tais como trincas, remendos, buracos, desgaste e afundamentos. Nesta tese, as avaliações da condição das vias é com base na identificação de defeitos na superfície do pavimento e, também, dos níveis de severidade e extensão de cada defeito.

No Brasil, de acordo com Causin (2001), em estudos de SGPU realizado em sete cidades do interior do estado de São Paulo; Matos (2004), em estudos de SGPU em Joinville, Santa Catarina; Zanchetta (2005), em estudos de SGPU em São Carlos, São Paulo; Hansen (2008), em estudo de Gerência de Pavimentos Urbanos realizado em Maringá, estado do Paraná; Lima (2007), em estudos de SGPU em São Carlos, São Paulo; Paéz (2015), em estudos de SGPU em Brasília, Distrito Federal, a maior parte

da rede pavimentada é em estrutura flexível, com revestimento em Concreto Asfáltico Usinado a Quente - CAUQ, Microrrevestimento ou Tratamento Superficial. Por isso deve-se dar importância no entendimento dos mecanismos de deterioração dessas estruturas, planejar as adequadas atividades de M&R e, ainda, pesquisar e implantar técnicas e matérias-primas de construção mais pertinentes ao tipo de clima e tráfego de cada localidade.

De acordo com La Torre (2002), a irregularidade longitudinal em rodovias é um dos mais comuns indicadores para caracterizar a superfície do pavimento em relação ao conforto do usuário. Várias correlações estão disponíveis para relacionar o *International Roughness Index (IRI)* com o Índice de Serventia Atual (ISA), que é uma representação numérica da percepção do usuário em relação à condição da rodovia. Mas é geralmente destinado às rodovias, e sua aplicação em áreas urbanas é complicada. As principais diferenças entre áreas urbanas e rodovias estão na duração da viagem e velocidade média.

O problema em usar a irregularidade longitudinal para representar áreas urbanas é escolher os parâmetros corretos para encontrar a realidade física e a padronização do modelo matemático. No estudo de La Torre (2002) foi desenvolvido um índice de irregularidade derivado do *IRI* em que a velocidade da avaliação é de 50km/h, invés de 80km/h e o comprimento base é de 50m. O objetivo foi adaptar o método desenvolvido para rodovias para ser aplicado em áreas urbanas.

Em São Carlos, no ano de 2005, também foram realizadas medições de irregularidade longitudinal como critério de avaliação da condição da superfície do pavimento. Foi utilizado equipamento de medição a laser com cinco leitores de irregularidade longitudinal. Os sensores foram acoplados a uma barra de metal e, esta, por sua vez, ao para-choques do veículo. Como já notado em experiência anterior, a velocidade de percurso é crucial na eficácia da avaliação. A avaliação em São Carlos apresentou algumas dificuldades, pois o equipamento apenas faz leituras confiáveis em velocidade superior a 40km/h. Cada vez que se iniciava o movimento ao sair de uma esquina ou se freava o veículo ao chegar em uma esquina, a leitura não era consistente para ser utilizada. Além disso, o veículo faz a leitura de apenas uma faixa da via de cada vez, e como há muita diferença na condição do pavimento entre uma

faixa e outra, principalmente quando uma das faixas é corredor de ônibus, há a necessidade de se avaliar no mínimo duas vezes cada seção, dependendo do número de faixas de rolamento.

Conforme explicado por Medina (1997) o mecanismo de deterioração dos pavimentos está associado ao tráfego e ao clima. O primeiro provoca degradação estrutural pelas tensões geradas e repetição das solicitações. O segundo age envelhecendo o ligante asfáltico. Portanto, com base no exposto, o tráfego faz surgir as primeiras trincas por fadiga que, se não seladas de imediato, permitem o bombeamento dos finos da camada de base – geralmente granular. Como consequência há diminuição da capacidade de suporte da via com desagregação do CBUQ e o aparecimento de painéis. Frente ao mecanismo de deterioração dos pavimentos com estrutura flexível, os mais comuns no Brasil, é importante que sejam adotados critérios de manutenção que incluam selar trincas a fim de evitar o surgimento precoce de painéis e comprometimento da capacidade estrutural por aumento da umidade das camadas de base, sub-base e subleito.

Segundo Baladi (1992), cada defeito é causado por uma ou mais variáveis, (por exemplo, mistura asfáltica, drenagem, ambiente, carregamento) que, quando conhecidas, fornecem grande compreensão das causas da deterioração das vias pavimentadas. Para cada tipo de pavimento, o próprio programa de manutenção, em seu procedimento de avaliação, deve incluir a identificação do tipo, severidade e extensão de cada defeito bem como os problemas de drenagem (por exemplo, água parada na vala de drenagem). Essas informações podem ajudar o organismo rodoviário a determinar a provável causa da deterioração do pavimento e selecionar a melhor alternativa de manutenção e reabilitação - M&R.

A avaliação da superfície do pavimento pode ser subjetiva ou objetiva. A avaliação subjetiva, desenvolvida na década de 1950-1960, como um dos resultados do *AASHO Road Test*, é realizada por um painel de avaliadores treinados, dentro de um veículo. É definida a condição do pavimento como Aceitável ou Não-aceitável. Também é atribuída uma nota de 0 a 5, sendo 5 para o pavimento em excelente condição. Nessa avaliação é obtido o *Present Serviceability Rating* – *PSR*. A avaliação objetiva depende da combinação de defeitos da superfície (trincas, afundamentos na trilha de

roda e remendos) e irregularidade longitudinal (obtida pelo perfilômetro AASHO). Nesse caso, obtém-se o *Present Serviceability Index - PSI*, ou Índice de Serventia – IS. A partir do IS podem ser estabelecidos limites de aceitação que possibilitam o planejamento das intervenções de M&R no pavimento. Atualmente é mais comum a obtenção de um indicador chamado índice combinado de defeitos, obtido a partir de uma avaliação objetiva da condição do pavimento.

Na avaliação objetiva são considerados os defeitos mais importantes para a deterioração do pavimento, aos quais são atribuídos fatores de ponderação, registrando-se a extensão e a severidade de cada defeito. A extensão e a severidade de cada defeito é dividida em três níveis (baixa, média ou alta). A dificuldade inerente é definir os fatores de ponderação para o conjunto de defeitos considerados.

De acordo com Lee (1992), desde o AASHO Road Test foram publicados alguns manuais para identificação de defeitos no pavimento. Cada estado (nos Estados Unidos) desenvolveu seu próprio procedimento de avaliação. Em 1979, em um esforço para promover uma padronização, o FHWA desenvolveu um manual de identificação de defeitos. Tempos depois o *Strategic Highway Research Program – SHRP* publicou um manual de identificação de defeitos. Ambos manuais ilustram a extensão e severidade de vários tipos de defeitos, com fotos.

O desafio é padronizar o procedimento para a identificação e registro dos defeitos presentes na superfície do pavimento e, em relação a esses defeitos, definir quais parâmetros são, de fato, necessários. Não há consenso. Em diferentes manuais, as dimensões de o que é considerado trincas por fadiga e seus diferentes níveis de severidade variam. Atualmente, a maioria dos estados realiza avaliação visual. Apesar de treinamentos serem realizados ainda há bastante variação na avaliação entre diferentes avaliadores. (LEE, 1992). Existem vários documentos que são referência para a avaliação da condição da superfície de um pavimento e identificação de defeitos. Os mais conhecidos são:

1. *Strategic Highway Research Program SHRP (1993). Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement performance Studies. The Strategic Highway*

Research Program. National Academy of Science. Washington, D.C., com 15 tipos de defeitos, nome, descrição, fotos, níveis de severidade e extensão e como medir.

2. *American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO* (1986) – Apêndice K, com 17 tipos de defeitos, nome, descrição, níveis de severidade e como medir.

3. *Pavement Condition Index (PCI)*. O *PCI*, conforme apresentado pelo Manual Técnico TM 5-623 (HeadQuarter, Department of the Army, 1982) considera 19 tipos de defeitos para pavimentos asfálticos e apresenta os procedimentos para identificá-los e medi-los. Este método, além de ser um manual de identificação de defeitos da superfície dos pavimentos, ainda apresenta uma metodologia para obtenção de um indicador de condição do pavimento, o Índice de Condição do Pavimento - ICP.

Na Tabela 2.2 podem-se observar os defeitos dos três manuais de identificação de defeitos na superfície dos pavimentos com revestimento asfáltico. Há 10 defeitos presentes nos três manuais. Dos três manuais, o *SHRP* é o que apresenta menos defeitos e suas pesquisas estão, atualmente, ativas. Portanto, é o mais adequado para servir de referência aos estudos desta tese.

Existem documentos publicados pelos organismos rodoviários brasileiros que orientam e definem a metodologia e os procedimentos de avaliação da superfície de um pavimento, tais como:

- DNER ES 128/83, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, “Levantamento da Condição de Superfície de Segmento Testemunha de Rodovia de Pavimento Flexível ou Semi-Rígido para Gerência de Pavimento em Nível de Rede”. Substituída pela DNIT 007/2003 PRO.
- DNER PRO 008/94, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, “Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos”. Substituída pela DNIT 006/2003 PRO.
- DNIT 006 2003 PRO, Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos.

Tabela 2.2: Comparativo de defeitos avaliados em diferentes manuais. Fonte: Autor.

	Nome do Defeito por Grupo (SHRP)	SHRP 1993	AASHTO 1993 Apêndice K	PCI 1979
	GRUPO TRINCAS			
1	Trincas por Fadiga	X	X	X
2	Trincas em Bloco	X	X	X
3	Trinca nos Bordos	X		X
4	Trincas Longitudinais	X		
5	Trincas de Reflexão nas Juntas	X		
6	Trincas Transversais	X		
	GRUPO REMENDOS E PANELAS			
7	Remendos	X	X	X
8	Panelas	X	X	X
	GRUPO DEFORMAÇÃO NA SUPERFÍCIE			
9	Deformação Permanente na Trilha de Roda	X	X	X
10	Corrugação	X	X	X
	GRUPO DEFEITOS NA SUPERFÍCIE			
11	Exsudação	X	X	X
12	Agregado Polido	X	X	X
13	Desgaste	X	X	X
	GRUPO DEFEITOS VARIADOS			
14	Desnível Pista-Acostamento	X	X	X
15	Bombeamento	X	X	
	DEFEITOS NÃO CONSTANTES NO SHRP			
19	Depressões Abruptas e Localizadas			X
20	Ondulação			X
21	Depressão		X	X
20	Trincas por Reflexão nas Juntas (Placas de Concreto)		X	X
21	Afastamento nas Juntas Pista/Acostamento		X	
22	Trincas Transversais e Longitudinais (não placa de concreto)		X	X
23	Trincas por escorregamento do CAUQ (meia Lua)		X	X
24	Deformação por Inchamento (por congelamento)		X	X
27	Cruzamento com Ferrovia			X

- DNIT 007 2003 PRO, Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes. Levantamento para avaliação da condição de superfície de

subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos

- DNIT 008 2003 PRO, Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes. Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos.
- DNIT 009 2003 PRO, Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes. Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos.

Na especificação DNER ES 128/83, que trata do levantamento de defeitos de segmentos-testemunha, são medidos os defeitos existentes, porém, não é considerada a severidade dos defeitos ou sua extensão, mas sim o número de ocorrências. Com os mesmos critérios da DNER ES 128/83, obtém-se o Índice de Gravidade Global – IGG, conforme a DNER PRO 008/94. Além de não contemplar alguns aspectos dos defeitos, em estudos conduzidos por Zanchetta (2005), a metodologia de obtenção do IGG apresentou elevado tempo de avaliação (cerca de 6 minutos/segmento) se comparada com a avaliação por caminhamento em toda a seção (2min48s/segmento) e, por não avaliar a seção toda mas sim uma amostra, a metodologia do IGG pode levar a uma conclusão errada da condição de um segmento de pista, pois se um defeito for encontrado na amostra é entendido que o defeito está presente em toda a seção e, ao contrário, se um defeito presente na seção não for encontrado na amostra, será entendido que a seção não apresenta tal defeito. A DNER ES 128/83 foi substituída pela DNIT 007/03 PRO. Para rodovias talvez seja menos ruim o resultado de uma avaliação se for considerado que um segmento de pista homogêneo pode ter até 2 km de extensão. Em ambiente urbano, com segmentos de pista mais curtos, a premissa de avaliar por amostragem não apresenta vantagens mas apenas desvantagens.

A DNIT 006/2003 PRO trata da avaliação objetiva de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Ela cancela e substitui a DNER PRO 008/94. A avaliação se baseia em medir a flecha na trilha de roda com uma régua padrão em alumínio e verificar a condição da superfície através do Índice de Gravidade Global (IGG). Como já citado anteriormente, o IGG, como indicador de qualidade para pavimentos urbanos, possui limitações por avaliar apenas uma amostra da seção.

Na obtenção do IGG, a subdivisão das trincas por fadiga (*Fatigue Cracking*) em categorias FC-1, FC-2 e FC-3, oriundas do *AASHO Road Test*, podem apenas dificultar a avaliação, diminuir suas repetibilidade e reprodutibilidade, o que pode comprometer a padronização da avaliação e a comparação entre resultados de diferentes agências ou de diferentes avaliadores.

Em estudos de SGPU, Matos (2004) propõe metodologia híbrida de avaliação e priorização de vias com base em procedimento proposto por Freitas (2002) e pela Especificação DNIT 006/2003, além de considerar o tráfego e a textura das vias. Como já comentado, a obtenção do IGG, com avaliação da via por amostragem, pode conduzir a avaliações que não representam o estado do segmento, com diminuição da acurácia da avaliação e possível repercussão na etapa de priorização de vias candidatas a receberem alguma atividade de M&R. Pode ser preferível avaliar toda a via, ainda que com menos detalhes.

A DNIT 007/2003 PRO cancela e substitui a DNER ES 128/83. Está voltada para a gerência de pavimentos e estudos e projetos, fornecendo formulários bastante detalhados para anotação dos defeitos presentes na superfície. A área de avaliação é constituída por amostras da seção, usa uma treliça padrão de alumínio para medição de flechas na trilha de roda e considera que um engenheiro faça a avaliação.

Esta pesquisa procura elaborar uma sistemática simples que mantém a qualidade da avaliação para gerenciar vias em nível de rede. A proposta é que um técnico possa realizar as avaliações, diminuindo os custos em relação a uma avaliação que necessite recursos humanos mais qualificados, como engenheiros, por exemplo. O papel do engenheiro será transformar os dados em informações, mas não necessariamente coletar dados.

A especificação DNIT 008/2003 PRO, que foi concebida para avaliar pavimentos rodoviários, consiste no Levantamento Visual Contínuo - LVC, em que uma equipe constituída de no mínimo dois avaliadores e um motorista percorre um trecho para “calibragem” e, após essa etapa, avaliam o pavimento previamente dividido em trechos homogêneos - subtrecho de 1km de extensão preferencialmente. A nota final de cada trecho é a média aritmética da nota dos avaliadores. Nesse caso, a avaliação

é feita em um veículo em baixa velocidade - 40km/h. São considerados alguns defeitos, tais como trincas, deformações permanentes, panelas e remendos. Também obtém-se o Índice de Gravidade Global Expedito - IGGE, que consiste em levantamento de defeitos com base nos critérios da DNIT 006/2003 PRO. Com os resultados do LVC e do IGGE é determinado o Índice de Estado da Superfície - IES, cujo conceito varia de péssimo a ótimo. É um procedimento demorado e subdividido em etapas, e ainda assim não verifica a severidade de todos defeitos, mas apenas a gravidade em função do número de ocorrências. É impraticável para pavimentos urbanos, favorecendo e justificando o desenvolvimento de outra metodologia para obtenção de dados de defeitos na superfície do pavimento.

A especificação DNIT 009/2003 PRO aplica o conceito da serventia atual para avaliar subjetivamente pavimentos flexíveis ou semirrígidos. A avaliação indica o grau de conforto e suavidade ao rolamento oferecido pelo pavimento. Nesse caso, um grupo de avaliadores emite suas opiniões sobre a condição da rodovia, considerando-a de tráfego pesado e que o trajeto terá duração de cerca de oito horas.

Sem dados de entrada confiáveis, os dados de saída de um SGP podem ser inúteis. As avaliações de campo podem ser feitas com planilhas de papel, computador portátil (*palm top* ou *tablet*), ou de maneira automatizada com um veículo instrumentado. Coletar muitos detalhes pode ser muito inconveniente ou pode não ser necessário para a maioria das atividades de um SGP em nível de rede (LEE, 1992).

De acordo com Baladi (1992), o uso dos dados da avaliação dos pavimentos depende de seus detalhes, qualidade e acurácia, determinando o seu uso em nível de rede ou de projeto. Dados mais grosseiros podem não ser suficientemente acurados para serem usados em nível de projeto mas sim em nível de rede.

Existem alguns tipos de índices, tais como:

- índices de defeitos do pavimento de modo itemizado (um índice para cada defeito, por exemplo, índice de panelas, índice de irregularidade longitudinal).
- um índice combinado de defeitos do pavimento (por exemplo, índice de defeitos da superfície ou o ICP).

- um índice geral do pavimento (por exemplo, índice de qualidade do pavimento).

Após ser escolhido algum dentre os tipos de índices (itemizado, combinado ou geral), o método de calculá-lo deve ser compatível com a política e os objetivos da administração e deve estar de acordo com os critérios de engenharia. Para esta tese, o indicador que representa a condição da superfície das vias pavimentadas foi um Índice Combinado de Defeitos, especificamente o Índice de Condição do Pavimento – ICP, com base no *Pavement Condition Index - PCI*.

Ainda que seguindo a política da agência, deve-se incluir em um SGP:

- os tipos de defeitos a serem coletados, a frequência de coleta e a extensão (comprimento da seção a ser avaliada – ou toda a seção), o tipo de índice a ser usado e quais atributos serão incluídos em seu cálculo.
- a escala para cada defeito. Esta escala pode estar vinculada com valores de zero até cem, zero até dez ou qualquer outro valor. Embora vários organismos usem escalas diferentes para diferentes defeitos, é mais vantajoso usar a mesma escala, facilitando a comunicação entre os usuários do SGP.
- um valor mínimo do índice que será aceitável. O valor limite pode ser qualquer um entre o valor máximo e o mínimo da escala. Podem ser usados diferentes limites para cada defeito.
- os níveis de severidade (baixo, médio e alto) e suas definições.

Para a realidade da maioria das prefeituras municipais brasileiras, a avaliação de campo para obtenção do ICP pode ser realizada por caminhamento, com uma equipe de avaliadores treinados, com base na identificação de defeitos na superfície do pavimento e registro do tipo, severidade e extensão. Adicionalmente, em etapa posterior à avaliação para identificação dos defeitos pelos avaliadores, pode-se realizar o registro dos defeitos por filmagem das vias.

De acordo com Wang e Smadi (2011), em estudos realizados nos Estados Unidos, a prática corrente para obter dados da condição do pavimento é examinar imagens da superfície, seja manualmente ou com auxílio de equipamentos computacionais. A

avaliação, para pavimentos flexíveis, inclui coletar dados de trincas, deformações na trilha de roda, entre outros.

A deformação na trilha de roda pode ser obtida com equipamentos de medição a laser tipo transversal ou outra metodologia a laser com base na aquisição multiponto. O desafio remanescente é identificar outros defeitos, como trincas. Atualmente, de acordo com os estudos de Wang e Smadi (2011), a metodologia predominante nos Estados Unidos e Europa é obter imagens 2-D e processá-las com algoritmos computacionais. Na França, por exemplo, são realizadas filmagens em filmes de 35mm que são posteriormente digitalizadas para o processamento computacional.

É importante salientar que existem algumas diferenças entre pavimentos urbanos e rodoviários, com destaque para a velocidade de operação dos veículos, o tempo de carregamento (espectro das cargas), os comprimentos dos segmentos de pista e os tipos de defeitos (desnível pista-acostamento e bombeamento que não são comuns em áreas urbanas).

Para Lee (1992), é importante haver padronização nas avaliações e definição dos defeitos para viabilizar a troca de informações entre diferentes agências. Considera que as trincas são os defeitos da superfície dos pavimentos mais importantes a serem avaliados e as divide em três categorias. Trincas por fadiga, trincas em linha (longitudinal ou transversal) e trincas irregulares. No departamento de transportes do estado de Washington (*WSDOT*), a avaliação é bienal e toda a rede é avaliada desde 1969. O defeito mais frequente foram as trincas. A avaliação é visual. Os principais fatores que influem na acurácia da avaliação visual de defeitos são:

- a subjetividade dos avaliadores;
- a complexidade do método de avaliação;
- a condição climática e
- a forma de conduzir a avaliação (por caminhamento ou dentro de veículo)

Ainda de acordo com Lee (1992), o *WSDOT* conduziu pesquisa em que foram avaliados 112 segmentos em rodovias estaduais, por três avaliadores. Foi realizado treinamento de uma semana promovido pelo *WSDOT*. Foram avaliadas as trincas por

fadiga, as trincas longitudinais e as trincas transversais, considerando-se a severidade e a extensão. Os resultados mostraram que, desconsiderando-se os segmentos que não apresentaram o defeito trincas, ou seja, incluindo-se na análise apenas os segmentos em que os avaliadores anotaram trincas, a consistência das avaliações entre os três avaliadores foi baixa, com valores de 5%, 15% e 25% para as trincas por fadiga, longitudinais e transversais respectivamente. Se forem considerados todos os segmentos, inclusive aqueles que não apresentaram o defeito trincas, a consistência aumenta para 50%, 25% e 25% para as trincas por fadiga, longitudinais e transversais, respectivamente, pois os segmentos sem o defeito trincas tem resultado da avaliação mais próximo entre os avaliadores. O que influenciou a qualidade dos dados foi o fato dos avaliadores terem sido solicitados a coletar três diferentes tipos de trincas, com sua severidade e extensão. Várias combinações de severidade e extensão não foram usadas.

Como recomendações para melhorar as avaliações, o *WSDOT* sugere que:

- o segmento a ser avaliado deve ser curto o suficiente para que o avaliador possa estimar razoavelmente a extensão dos defeitos;
- deve ser esperado dos avaliadores que considerem apenas defeitos com severidade suficiente para serem observados por qualquer condição em campo (com ou sem chuva, a pé ou dentro de veículo);
- o número de categorias de severidade e extensão deve ser reduzido para aumentar a consistência dos avaliadores;
- categorias de severidade e extensão que raramente são usadas podem ser removidas do formulário. Categorias de trincas que raramente são usadas pelos avaliadores podem ser excluídas do formulário de campo;
- o SGP padrão deve usar dados padrão que possam ser facilmente verificados para sua validade; e
- o procedimento de coleta e análise automatizada de trincas deve ser usado como padrão para medidas de defeitos nos pavimentos.

Os segmentos a serem avaliados em pavimentos rodoviários são definidos a partir de trechos considerados homogêneos, com estrutura do pavimento e tráfego similares.

Já nos pavimentos urbanos, praticamente não há trechos homogêneos, sendo cada segmento definido como a distância entre esquinas. Como a velocidade dos veículos é maior nas rodovias, a irregularidade longitudinal tem grande importância, o que não ocorre em vias urbanas, onde a velocidade é menor.

Segundo Al-Qadi *et al.* (1992) há vários procedimentos automatizados para coleta de dados de campo disponíveis nos EUA e Europa, tais como:

- processamento de imagem
- ondas eletromagnéticas
- nuclear
- a laser
- ondas ultrassônicas

Alguns tem boa funcionalidade (processamento de imagens), outros são promissores (a laser) e uns enfrentam sérias limitações (ultrassônicos).

A avaliação de campo, indispensável para o planejamento das atividades de M&R, deve apresentar os defeitos da camada superficial do pavimento. Os defeitos podem surgir em função de repetidas passagem de veículos (trincas por fadiga) ou pela evolução de defeitos existentes para outro mais grave (trincas por fadiga evoluem para panelas). Como informação complementar, deve indicar a atividade de Manutenção ou Reabilitação (M&R) para cada seção.

2.6 Modelo de Previsão de Desempenho de Pavimentos

De acordo com Al-Abdul Wahhab *et al.* (2002), modelos de previsão da condição do pavimento são essenciais para um completo SGP. São usados em nível de rede e nível de projeto.

Em nível de rede, modelos de previsão de desempenho incluem previsão da condição futura, plano de investimento, programação de inspeção e planos de trabalho. Um dos

mais importantes usos do modelo de previsão é para analisar “o que fazer se” e estudar os efeitos de várias alternativas de M&R na condição futura do pavimento.

No nível de projeto, modelos são usados para selecionar alternativas específicas de reabilitação para o tráfego esperado e condições climáticas (dimensionamento de reforço estrutural, por exemplo). Os modelos fornecem melhores dados de entrada para análises econômicas com a comparação de várias alternativas de M&R.

Para Hudson (1997), um SGP bem estruturado reconhece a importância da análise de vida de serviço, incluindo os custos da agência para construção, manutenção, reabilitação, e renovação/substituição, assim como os custos oferecidos aos usuários.

É necessário que os dados sejam filtrados de erros para que o modelo funcione. Portanto, devem ser usados dados de entrada altamente confiáveis, o que pode ser alcançado mais facilmente com valores fixos e padronizados de ICP em função de severidade e extensão.

De acordo com Haas *et al.* (1994) os modelos de desempenho podem ser classificados em quatro categorias:

- Puramente mecânico: com base em respostas estruturais, tais como tensão, deformação ou deflexão do pavimento;
- Empírico–mecânico: relacionam respostas estruturais com a deterioração funcional ou estrutural através de equações de regressão;
- Empírico ou de regressão: nesse caso, as variáveis dependentes, funcionais e estruturais, são relacionadas a uma ou mais variáveis independentes, como a capacidade de suporte do subleito, aplicações de carga por eixo, características e espessuras das camadas do pavimento, fatores ambientais e suas interações;
- Subjetivo: com base nas experiências de profissionais é formalizada através de processos de transição, como o processo de Markov, podendo se obter modelos de desempenho sem a necessidade de séries históricas.

De acordo com Harper e Majidzadeh (1992), um SGP deve ser capaz de prever a condição futura do pavimento assim como a melhoria que resulta de uma opção de

manutenção particular. Essa capacidade de prever pode depender de vários parâmetros e pode ser o resultado de modelos empíricos, mecanísticos ou empírico-mecanísticos. Para oferecer uma solução em nível de rede, os modelos de previsão devem depender das informações prontamente disponíveis em todo segmento da rede. Modelos de previsão de desempenho normalmente tem como base os dados de campo relevantes para a rede que está sendo modelada. Um SGP precisa de um sistema de gerência da base de dados bem planejada. Mesmo assim é possível que o modelo de degradação não possa ser imediatamente obtido. O departamento de transportes de Ohaio, EUA, desenvolveu um modelo de desempenho determinístico, com base em dados bem detalhados. Ainda conforme os autores, a Arábia Saudita desenvolveu seu modelo de previsão de desempenho por modelo estocástico de otimização a partir de dados históricos mínimos, em que é prevista a probabilidade de transição de um estado para outro. Foram usados painéis de *experts* no assunto.

No estudo de caso desta tese, no município de São Carlos-SP, os dados que podem ser coletados em campo são a Classe Funcional (de acordo o volume de tráfego), os defeitos presentes na superfície do revestimento asfáltico, a partir dos quais é possível calcular o ICP.

Os modelos de desempenho são importantes para o acompanhamento da serventia das vias. De acordo com Nascimento (2005), cada região apresenta características próprias, relativas ao clima, *CBR* do subleito, técnica e controle construtivos e tráfego. Foram comparados diferentes modelos de previsão de desempenho de pavimentos flexíveis, todos rodoviários. Os modelos comparados foram os de Queiroz (1981), Paterson (1987), Marcon (1996), Yshiba (2003) e do HDM-4. Quando analisado o Índice de Irregularidade Longitudinal - IRI, os modelos de previsão de Yshiba e Paterson se mostraram mais adequados e os principais dados de entrada são a idade, o tráfego e o número estrutural corrigido - SNC das vias. Já para deformação permanente, os modelos de Paterson e Marcon apresentaram previsões mais próximas dos dados reais. O modelo de previsão do HDM-4 mostrou-se inadequado para estimar as duas grandezas (IRI e deformação permanente), possivelmente pela necessidade de calibrar diversas variáveis, o que torna necessário um extenso banco de dados, nem sempre disponível. Portanto, para modelos de previsão de

desempenho complexos são necessários diversos dados e um extenso banco de dados disponível.

Os exemplos acima são para pavimentos rodoviários e usam como dados de entrada informações estruturais, dados de tráfego e idade, que raramente estão disponíveis em áreas urbanas.

Portanto, para esta tese é utilizado como critério de verificação de desempenho uma série histórica de dados de avaliações da condição da superfície das vias, cujo indicador de qualidade é o Índice de Condição do Pavimento, obtido a partir de avaliações de campo, com identificação e registro do tipo, severidade e extensão dos defeitos.

2.7 Atividades de Manutenção e Reabilitação e SGPU nas Cidades Brasileiras

As cidades brasileiras, de forma geral, apresentam pavimentos em má condição conforme pesquisas e noticiários apontam. Normalmente, as vias tem muitos remendos, formando na superfície do pavimento o que às vezes é chamado de “colcha de retalhos”.

A ingerência política na área técnica, a restrição orçamentária, o dimensionamento inadequado, a falta de manutenções programadas e as poucas opções de manutenção associados à fiscalização inadequada de obras, podem ser os responsáveis.

É mais comum que as prefeituras não tenham um SGPU e que apenas realizem operações tapa-buracos e recapeamentos, que são mais onerosos se comparados às opções de manutenção que incluem manutenção preventiva e selagem de trincas.

Lima (2007), em pesquisa de SGPU, explica que a maioria das cidades brasileiras cresceu de forma desordenada, que há interferências de infraestrutura nas vias urbanas, tais como abertura de buracos para obras, travessias de ligação para luz, água, esgoto e águas pluviais. A fim de investigar o perfil da gestão das cidades

brasileiras, foi enviado para 106 cidades brasileiras de médio porte um questionário sobre a presença de um SGPU e as M&R mais utilizadas. O questionário foi enviado para os responsáveis pelos serviços de conservação dos pavimentos, entre março e junho de 2005. Os resultados mostraram que:

- 30% responderam;
- 32% dos diretores são cargos políticos;
- 64% tem inventário (localização e geometria das vias);
- 20% tem características do pavimento (geometria da estrutura).

Quanto a periodicidade do levantamento de dados de campo:

- 28% todo ano;
- 4% de 2 em 2 anos;
- 60% quando necessário;
- 8% nunca fizeram;
- 12% atualizam dados de inventário;
- 0% possuem modelos de previsão de desempenho.

Causin (2001), em pesquisa de SGPU, fez visitas a vários municípios do interior do estado de São Paulo. Buscou desenvolver um conjunto mínimo de atividades que permite implantar um SGPU, com definição dos dados de interesse a serem coletados. O banco de dados deve ser de fácil acesso e manuseio. As cidades visitadas possuíam entre 10.000 e 200.000 habitantes. Constatou-se que em alguns casos não é a falta de recursos que impede a implantação de um SGPU, mas a falta de interesse ou conhecimento por parte dos administradores. A mudança de equipes a cada mandato é um empecilho, mas não justifica, pois os dados ficam armazenados. As principais restrições encontradas foram de pessoal qualificado e software. As informações ou não existem ou são oriundas de contratos e medições. Estas informações não estão organizadas para um fácil acesso. As cidades pesquisadas, a população e as estratégias de M&R que as prefeituras realizam são apresentadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Cidades, habitantes e atividades de M&R. Fonte: Causin (2001).

Cidade	Número de habitantes	Atividades de M&R utilizadas pelas Prefeituras
Barretos	110.000	tapa-buracos e recapeamento
Sumaré	200.000	tapa-buracos e recapeamento
Colina	016.655	tapa-buracos e recapeamento
Bebedouro	080.000	manutenção corretiva
Jaboticabal	075.000	tapa-buracos e recapeamento
Guaíra	035.140	tapa-buracos e recapeamento
Monte alto	042.000	tapa-buracos e recapeamento

Causin (2001) recomenda, ainda, que inicialmente as fases de implantação de um SGPU devem seguir as etapas de levantamento do inventário e avaliação visual (recomenda o IGG) com anotação de trincas, panelas e remendos. Como conclusão de sua pesquisa, podem ser destacados que as prefeituras não possuem estrutura (pessoal qualificado) e duvidam que o SGPU é realmente a melhor alternativa para investir recursos e, também, que o uso da viga Benkelman para avaliação estrutural mostrou-se adequado.

De Oliveira (2013), em estudos de SGPU, pesquisador e funcionário da diretoria de obras apresentou as condições da prefeitura municipal de Anápolis, no estado de Goiás. Dentre as principais observações podem ser destacadas as seguintes:

- Equipe desmotivada;
- Falta de projeto básico, executivo e “*as built*”;
- Maquinário insuficiente e inadequado para obras de drenagem e pavimentação;
- Cronograma de atividades alterado frequentemente para atender demandas urgentes, como por exemplo, reclamações dos munícipes aos meios de comunicação (rádio e tv);
- Falta de definição dos locais e prazos para a realização das obras prioritárias;
- As atividades de M&R são tapa-buracos e recapeamento;
- As medições são por meio do volume transportado de materiais e não por camada acabada;
- Não há controle da usinagem, transporte e aplicação da mistura asfáltica;

- Não há projetos específicos, mas apenas a experiência do tomador de decisões;
- Não há inventário da malha viária urbana.

A fim de suprir essas dificuldades, a prefeitura de Anápolis firmou parceria com a Escola de Engenharia de São Carlos para implantar um SGPU. Foi levantado o inventário. No início a produtividade das equipes era de 2 a 4 trechos em 4 horas. Depois da fase inicial de interação com a sistemática, a produtividade subiu para 15 a 20 trechos em 4 horas.

Com a implantação do SGPU em Anápolis, as atividades de M&R passaram a ser mais diversificadas e incluem:

- NF – nada a fazer;
- MP – manutenção preventiva (sellar trincas, lama asfáltica ou microrrevestimento);
- MC – manutenção corretiva (remendo);
- RFC – reforço convencional (recapeamento de 3cm sem fresagem);
- RFE – reforço especial (recapeamento de 5 a 7cm com fresagem e, se necessário, reparo profundo);
- RC – reconstrução (total demolição e reconstrução do pavimento).

Danieleski (2004), em pesquisa de SGPU em Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, verificou que há diferenças entre pavimento urbano e rodoviário, com destaque para:

- Grande área de interseções (esquinas);
- Grande quantidade de interferências (redes de água, esgoto, telefonia, energia elétrica, gás e fibra óptica);
- Segregação de tráfego com faixas exclusivas para ônibus;
- Árvores nas calçadas, cujas raízes podem causar danos ao pavimento, especialmente nos bordos;
- Necessidade de adaptar as vias à topografia da cidade, o que pode gerar rampas elevadas.

Por essas diferenças que se torna necessário que seja desenvolvido um SGPU, ainda que com base em um SGP.

Paez (2015), em estudos de SGPU com dados de Brasília, no Distrito Federal, afirmou que um SGPU deve considerar:

- Recursos disponíveis (pessoal, equipamentos e orçamento);
- Informação (projeto e construção, histórico das atividades de M&R);
- Deve ser de fácil implantação pela agência local;
- Deve ter sentido prático para o levantamento de campo;
- Deve ser capaz de armazenar dados em computadores;
- As metas e objetivos devem ser claros;
- Os funcionários devem ter treinamento contínuo;
- Os funcionários devem ser capazes de realizar levantamento de campo;
- Deve-se estabelecer uma base de dados e desenvolver um modelo de previsão de desempenho.

Zerbini (1999), em estudo para desenvolver um modelo de previsão de desempenho para pavimentos urbanos com base em dados do município de Araraquara, no interior do estado de São Paulo, propôs dois modelos de previsão de desempenho, um empírico com base em dados de avaliações de campo, e outro subjetivo, com base em matrizes de transição obtidas por opinião de especialista e métodos formais de entrevista. Como conclusões do estudo, destacam-se:

- Os modelos precisam ser calibrados periodicamente, principalmente os modelos subjetivos;
- Para os modelos empíricos, são necessários dados de avaliações de campo ao longo do tempo;
- Sugere-se que as prefeituras municipais mantenham arquivos com dados históricos de fatores que afetam o desempenho dos pavimentos e que sejam realizadas avaliações periódicas;
- As curvas de desempenho devem receber ajustes para serem aplicadas a localidades diferentes daquelas onde o modelo foi desenvolvido;
- Há uma diferença significativa na influência da variável atividades de M&R sobre o comportamento do pavimento ao longo do tempo.

Scaranto e Gonçalves (2008), em estudos de manutenção em pavimentos urbanos em Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul, verificaram a inexistência de procedimentos ou técnicas para a avaliação da condição dos pavimentos urbanos. Tendo essa dificuldade em vista, propuseram um manual para avaliação de vias e escolha das atividades de M&R. A avaliação de campo se baseou no Levantamento Visual Contínuo – LVC. Os defeitos foram avaliados com base na severidade e extensão e isso mostrou-se adequado. Concluiu-se que registros fotográficos auxiliam na identificação e localização dos defeitos quando das manutenções. Foram incluídos itens relativos à drenagem nas avaliações de campo, os quais se mostraram importantes na árvore de decisões.

Moraes *et al.* (2006), em estudos de técnicas de avaliação e manutenção de pavimentos para a área urbana de Campina Grande, capital do estado da Paraíba, observaram que para as vias urbanas há dificuldades técnicas para elaborar critérios de M&R. Os tapa-buracos e os reparos em drenagem são aleatórios, desorganizados e com eficiência questionável. Com base em manuais de identificação de defeitos produzidos no exterior e no Brasil foi proposto um critério racional para as atividades de M&R em áreas urbanas. As premissas do manual é que seja prático e de fácil entendimento. Lembrem, ainda, os autores, que os manuais disponíveis são para rodovias e não consideram os defeitos e mecanismos de deterioração do pavimento particulares das áreas urbanas, como por exemplo os defeitos nos bordos resultantes da elevação da estrutura do pavimento por raízes de árvores.

Da Silva (2003), em estudos para escolha do revestimento em pavimentos urbanos, com estudo de caso em Curitiba, capital do estado do Paraná, explica que o Programa Paraná Urbano disponibilizou recursos para pavimentação. Houve auditoria posterior e constatou-se que das 384 obras analisadas, 53,6% foram consideradas boas, 32,3% foram consideradas regulares e 14,0% foram consideradas ruins. Os itens observados pela auditoria dentro das etapas construtivas foram desde drenagem, sub-base, base e revestimento. Verificaram-se a geometria, o grau de compactação, a granulometria, as espessuras, as condições climáticas durante a execução das obras, a composição do revestimento e o atendimento às especificações de modo geral. O autor cita, também, o caso de Porto Alegre, em que, para obter financiamento do Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, havia uma premissa inicial de pavimento

com revestimento em Concreto Asfáltico Usinado à Quente – CAUQ, mas, após exigência do BID para que se realizasse análise do custo total ao longo da vida útil do pavimento (construção, manutenção e custos dos usuários) e não apenas o custo inicial, houve a substituição do projeto inicial em CAUQ para uma estrutura rígida com concreto com cimento Portland. No caso de Curitiba fica evidente a falta de fiscalização e controle tecnológico em obras públicas. Já em Porto Alegre, o fato ocorrido justifica a análise da vida útil do pavimento como um todo antes de se decidir qual a melhor estratégia de M&R.

Fernandes (2011), em estudos de SGPU assistido por Sistema de Informações Geográficas - SIG, realizou estudo piloto em São José, estado de Santa Catarina. A coleta de dados das avaliações de campo foi realizada com *palm top* e isto assegurou vantagens na velocidade e segurança do sistema. Os dados são transferidos para um banco de dados em Microsoft Access®. Tornou-se possível compatibilizar as informações das vias com as demais infraestruturas urbanas por meio de um SIG. Os resultados indicaram que é possível gerar mapas temáticos para auxílio na tomada de decisão. As intervenções corretas podem ser realizadas na época correta. Os padrões de relatório de um SGPU com SIG podem ser utilizados para captação de recursos, com vistas a manter o patrimônio e garantir segurança e conforto aos usuários.

Hansen, Frandolozo e Gonçalves (2006), em estudos de engenharia de tráfego em Passo Fundo, estado do Rio Grande do Sul, apontaram um aumento no número de veículos e ausência de ferramentas auxiliares de tomada de decisão, com desconforto e insegurança para os usuários. Dos 500 km de vias, 70% são pavimentadas, porém, as autoridades que administram a rede não entendem os benefícios de adotar critérios racionais de tomada de decisão. O estudo envolveu agentes da Guarda Municipal de Trânsito, funcionários da Secretaria Municipal de Serviços Urbanos (SMSU) e alunos da Universidade de Passo Fundo (UPF). Para a coleta de dados houve uma parceria entre a Prefeitura Municipal de Passo Fundo (PMPF), Universidade de Passo Fundo e o Laboratório de Sistemas de Transportes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LASTRAN –UFRGS).

Ainda em Passo Fundo, foi realizada pesquisa para definir pólos geradores de viagens, tipos e quantidades de veículos, obter matriz origem-destino (O/D), verificar

taxa de ocupação de estacionamentos, entre outros aspectos. Estudou-se, também, tempos de viagens e atrasos. Vale destacar a resolução 39/98 CONTRAN, que proíbe lombadas físicas em vias arteriais. Como conclusões do estudo, os autores explicam que dividir a cidade em macro e micro regiões mostrou-se adequado, que não há ferramentas auxiliares para a tomada de decisão na gerência do sistema viário, que é importante haver fiscalização das obras e promover campanhas de educação no trânsito, que o banco de dados com as informações da malha viária e seus indicadores de desempenho deve ser ampliado e que para preservar o patrimônio é necessária uma ferramenta para otimizar os recursos públicos.

Aps, Balbo e Severi (1998), em pesquisa de avaliação de vias urbanas em Santos, interior do estado de São Paulo, verificaram que quando as vias são avaliadas com base no Índice de Gravidade Global – IGG ou pelo *Pavement Condition Index* – *PCI*, os resultados são bastante similares. Há uma leve tendência do IGG resultar em estado de condição mais severo do que o *PCI*, mas uma possível explicação, segundo os autores, é que o IGG possui apenas 4 estados de condição e o *PCI* possui 7 estados de condição. Ambos os métodos podem resultar em equívoco se considerado que apenas uma amostra da seção é avaliada. O mesmo problema da avaliação por amostragem foi notado por Zanchetta (2005) e erros na avaliação de campo podem influenciar negativamente a etapa de priorização das vias candidatas a receberem atividades de M&R.

Becker (2012), em estudos de gerência de pavimentos urbanos em Suzano, interior do estado de São Paulo, aplicou os critérios de priorização de vias candidatas a receber atividades de M&R de Tavakoli e comparou com o modelo equivalente do *Highway Design and Management* – *HDM-4*. Como resultados da pesquisa verificou-se que ambos modelos são passíveis de serem aplicados, porém, o modelo de Tavakoli, fechado, com menos variáveis, mostrou-se mais distante do caso real se comparado aos resultados obtidos com o modelo do *HDM-4*, pois este apresenta mais variáveis a serem calibradas.

Fernandes Júnior, Lopes e Pfaffenbichler (2012), apresentaram uma proposta de análise dinâmica para redes urbanas pavimentadas. É uma evolução dos SGPU pois concilia uma base de dados, uma simulação da condição futura e uma apresentação

de resultados espaciais em ambiente SIG. No exemplo apresentado pelos pesquisadores, foi utilizada uma base de dados do município de São Carlos, interior do estado de São Paulo. Com base nos dados de ICP, idade, classe funcional das vias e atividades de M&R foi elaborado um relatório em que foi simulada a evolução da condição das vias de acordo com a classe funcional. A análise foi para um período de 4 anos. Verificou-se que a condição das vias piora rapidamente quando não são realizadas ações preventivas para manter a condição das vias pavimentadas. A consequência é o aumento das necessidades orçamentárias para devolver às vias condições ideais de tráfego.

Enquanto as pesquisas no Brasil ainda são poucas e a prática tende a zero quando o assunto é SGP, em países desenvolvidos, que já se beneficiam das vantagens socioeconômicas da implantação e uso continuado da gestão racional dos pavimentos, há, complementarmente, sistemas de gerência de equipamentos, como apresentam Weissmann, Weissmann e Gona (2003), em relato do Departamento de Transportes do Texas, sobre a metodologia computadorizada de substituição de equipamentos. A análise é com base nos custos totais, que incluem o custo de aquisição, custo de revenda, custo de reparo, custo operacional e custos indiretos. Em uma visão ideal, podem ser incluídos a depreciação e obsolescência dos equipamentos. Essa metodologia pode ser aplicada para toda a frota de veículos, sejam caminhões, veículos, tratores e qualquer outro bem que possua o ciclo de vida e os custos envolvidos estimados e modelados conforme a metodologia define.

A atividade de M&R adequada ocorrer na época correta é o mais eficiente, porém, o projeto da mistura asfáltica também tem influência no desempenho do pavimento flexível. Vidotto e Fontenele (2013) analisaram dados do km 28 da rodovia dos Imigrantes, em Piratininga, no estado de São Paulo. As cargas do tráfego e as características do CAUQ (espessura, módulo de elasticidade e coeficiente de *Poisson*) foram analisadas com viés empírico-mecânico no programa ELSYM 5, com análise sobre trincas por fadiga e afundamentos nas trilhas de roda. Os resultados apontaram que a estrutura flexível é mais sensível ao surgimento de trincas por fadiga do que deformações permanentes em função da variação das espessuras do revestimento. Quando a espessura aumenta de 7,5 cm para 15,0 cm há diminuição do consumo da vida de fadiga de 41%.

Os autores concluíram, ainda, que as deformações permanentes apresentaram diminuição de apenas 9%. Por isso procedimentos com base nos mais modernos métodos de dimensionamento, como o *Mechanistic-empirical Pavement Designing Guide* (MEPDG) da AASHTO recomendam espessura mínima do revestimento de 12,5 cm já a partir do tráfego médio (superior a 5×10^6 veículos).

2.8 O Método *PCI - Pavement Condition Index*

Um método bastante conhecido para avaliar defeitos presentes superfície dos pavimentos é o *Pavement Conditional Index - PCI*, desenvolvido pelo *Construction Engineering Research Laboratory – CERL*, publicado no documento CERL-TR-M-268, em 1979, pelo *United States Army Corps of Engineers –USACE* (SHAHIM e KHON 1979-a, 1979-b).

Das avaliações realizadas em São Carlos no ano de 2005, uma amostra de 20 segmentos foi dividida em 4 categorias de valores de ICP Objetivo e foi calculado o ICP de acordo com o método *PCI*. O objetivo é comparar os valores de ICP obtidos pela avaliação realizada com base na planilha do Instituto do Asfalto e nos defeitos do *SHRP* (IA/SHRP) com os valores obtidos pelo método tradicional do *PCI* e também com a planilha de 5 defeitos.

Para a divisão dos segmentos em categorias, adotou-se o seguinte critério, uma categoria com valores de ICP objetivo menores do que 70 (as menores notas); a segunda categoria com notas entre 70 e 80, a terceira com notas entre 80 e 90, e a última categoria com notas maiores que 90. Além das notas de ICP Objetivo IA/SHRP e ICP Objetivo método *PCI*, também foram comparadas as notas objetivas obtidas com a planilha de 5 defeitos e as notas subjetivas obtidas pela planilha IA/SHRP.

A seguir, na Figura 2.4, são mostrados os segmentos em que serão calculados o ICP pelo método *PCI*. O método *PCI* define que após identificados os tipos de defeitos, deve-se anotar a severidade de cada tipo e a densidade de ocorrência. A severidade é dividida em três níveis: alta, média e baixa. A densidade de ocorrência é a porcentagem da área total da seção em que o defeito está presente. Cada tipo de

defeito terá uma densidade para cada nível de severidade. Em seguida são utilizadas curvas para se obter o valor deduzido (*Deduct Value – DV*) para cada tipo de defeito com a respectiva severidade e densidade de ocorrência.

ICP OBJ MENOR QUE 70 (PLANILHA IA/SHRP - AVALIAÇÕES 2005)					
ID	RUA/AV	ICP OBJ IA/SHRP	ICP SUB IA/SHRP	ICP 5 DEFEITOS	PCI
453	TANCREDO NEVES				
1270	HENRIQUE GREGORI				
3342	SÃO CARLOS				
1007	HENRIQUE GREGORI				
710	D. ALEXANDRINA				
ICP ENTRE 70 E 80 (PLANILHA IA/SHRP - AVALIAÇÕES 2005)					
ID	RUA/AV	ICP OBJ IA/SHRP	ICP SUB IA/SHRP	ICP 5 DEFEITOS	PCI
749	RUI BARBOSA				
986	HENRIQUE GREGORI				
985	HENRIQUE GREGORI				
1268	HENRIQUE GREGORI				
713	D. ALEXANDRINA				
ICP OBJ ENTRE 80 E 90 (PLANILHA COMPLETA IA/SHRP - AVALIAÇÕES 2005)					
ID	RUA/AV	ICP OBJ IA/SHRP	ICP SUB IA/SHRP	ICP 5 DEFEITOS	PCI
733	SÃO JOAQUIM				
735	SÃO JOAQUIM				
3239	VICENTE DE CARVALHO				
6001	RUI BARBOSA				
3440	SÃO CARLOS				
ICP OBJ MAIOR QUE 90 (PLANILHA IA/SHRP - AVALIAÇÕES 2005)					
ID	RUA/AV	ICP OBJ IA/SHRP	ICP SUB IA/SHRP	ICP 5 DEFEITOS	PCI
169	DOM PEDRO II				
163	SÃO JOAQUIM				
5974	SÃO CARLOS				
165	SÃO JOAQUIM				
3438	SÃO CARLOS				

Figura 2.4: Amostra de segmentos para comparar ICP. Fonte: Autor.

É importante destacar que as curvas do método *PCI* não foram obtidas com base em vias brasileiras, com possível necessidade de ajustes para a realidade brasileira. Os

valores deduzidos são somados e é encontrado o valor total deduzido (*Total Deduct Value – TDV*). A próxima etapa é determinar o valor de “q”, que representa o número de valores de dedução (DV) maiores que 5. Com o valor de “q” e o TDV, usa-se um quadro com outras curvas de ajuste para se corrigir o valor total a ser deduzido e é obtido o valor total corrigido (*Correct Deduct Value – CDV*). Por último, faz-se $100 - \text{CDV}$ e o resultado é o *PCI* da seção.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Introdução

Com a implantação e uso continuado de um SGPU pelas administrações municipais brasileiras e pelo Distrito Federal, podem ser alcançadas, ao mesmo tempo, economia de recursos e vias em melhor condição do que atualmente, com vantagens para os usuários e administradores no médio e longo prazo. É necessário treinar equipes e aperfeiçoá-las continuamente. Para o sucesso das manutenções programadas é necessário um modelo de previsão da condição futura, pois somente assim se pode reservar os recursos necessários para intervir no pavimento na data correta.

Com treinamento e avaliações constantes, é esperado que haja padronização dos critérios usados pelos avaliadores. Como nem sempre se pode manter um mesmo avaliador por muito tempo, é fundamental criar critérios simples e padronizar a avaliação objetiva, possibilitando um tempo menor de treinamento para que um novo funcionário possa avaliar as vias e fornecer informações confiáveis para os demais níveis de tomada de decisão. Uma vez definida a metodologia de avaliação de campo e coletados dados, deve-se desenvolver um modelo de desempenho do pavimento.

Após serem definidos a metodologia de avaliação de campo e o modelo de previsão da condição futura do pavimento, é necessário registrar as atividades de M&R e acompanhar a eficiência das ações adotadas. Para esse propósito, pode-se utilizar uma planilha eletrônica em que, além de serem registrados os dados das avaliações de campo, é simulada a evolução da condição das vias e os efeitos de diferentes estratégias de M&R.

Os dados apresentados nesta tese foram coletados em várias etapas e em diferentes localidades. Parte dos dados foi obtida no município de São Carlos, no interior do estado de São Paulo. Outra parte foi obtida mediante avaliação de toda a malha viária urbana do Distrito Federal. As metodologias de coleta de dados são similares, porém, com algumas diferenças. São, portanto, apresentadas separadamente.

3.2 Origem dos Dados do Município de São Carlos/SP

Para a obtenção dos dados de São Carlos foram realizadas três avaliações de campo. A primeira avaliação, realizada durante o ano de 2003, como parte do processo de implantação de um SGPU no município, abrangeu toda a malha pavimentada urbana de São Carlos, num total de 7113 segmentos, dos quais 5800 possuem revestimento asfáltico.

Após 2003, apesar do SGPU não ter sido continuado pela prefeitura de São Carlos, foi reavaliada uma amostra de 220 segmentos nos anos de 2005 e 2007. O objetivo foi acompanhar a serventia das vias desta amostra para estudos de gerência de pavimentos urbanos em programa de pós-graduação. A amostra de segmentos avaliados nos anos de 2005 e 2007 foi selecionada de modo a contemplar vias arteriais, coletoras e locais, com fluxo de veículos alto, médio e baixo, respectivamente e, ao mesmo, em diferentes estados de conservação.

As avaliações do ano de 2003 foram realizadas por uma equipe de quatro avaliadores, todos alunos de pós-graduação do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos. Antes da ida ao campo foi realizado treinamento por um avaliador experiente, professor do departamento. As avaliações foram realizadas por caminhamento e dentro de veículo em baixa velocidade. Nas avaliações de 2005 e 2007 houve apenas um avaliador, aluno remanescente da equipe de 2003 e um dos autores desta tese. Durante a coleta de dados de campo em 2003 verificou-se que avaliações em pavimentos urbanos são mais eficientes se realizadas por caminhamento. Em coleta de dados com veículos em baixa velocidade notou-se perda da qualidade das informações. Por esse motivo, as avaliações nos anos de 2005 e 2007 foram realizadas apenas por caminhamento.

Para o município de São Carlos, os defeitos avaliados em campo tiveram como base o Manual de Identificação de Defeitos do *Strategic Highway Research Program*, SHRP (1993), que trata de defeitos dos pavimentos rodoviários. Alguns defeitos foram desconsiderados, como por exemplo, “desnível pista-acostamento, bombeamento, agregados polidos e trincas transversais”, seja por serem defeitos encontrados

apenas em pavimentos rodoviários ou por não serem comuns às cidades brasileiras, em especial a São Carlos.

Foram avaliados os defeitos “trincas por fadiga, trincas em blocos, defeitos nos bordos, trincas por reflexão, trincas longitudinais, remendos, panelas, deformação permanente, corrugação, exsudação e desgaste”.

Com a aprovação do ato de autorização, por parte do congresso norte-americano, em 1987, o programa *SHRP* dispôs de um investimento inicial de cerca de 150 milhões de dólares, teve previsão de duração de 20 anos e contou com a participação de vários países de todo o mundo.

O *SHRP* tem uma abordagem ampla de caracterização dos defeitos do pavimento, com ilustrações, processos que levam ao seu surgimento, atividades de M&R indicadas entre outros.

Nesta tese, a planilha de avaliação de campo utilizada para as vias de São Carlos foi elaborada a partir de um modelo de planilha do Instituto do Asfalto, conforme Figura 3.1, e dos defeitos do programa *SHRP*.

No formulário de avaliação de campo do Instituto do Asfalto há 13 defeitos mais a avaliação da qualidade de rolamento. Há, também, a ponderação de pesos para diferentes defeitos. O formulário foi desenvolvido para avaliação de vias de uma rodovia de baixo volume de tráfego, conforme o *Informative Series IS 169 - Asphalt Institute, 1981*.

Para as avaliações das vias de São Carlos, a planilha de campo a ser preenchida com os defeitos da superfície do pavimento se baseou no critério de ponderação de defeitos do Instituto do Asfalto. Sempre que o texto se referir às avaliações realizadas em São Carlos com essa planilha, elas são denominadas como avaliações IA/*SHRP*.

ASPHALT PAVEMENT RATING FORM⁽¹⁾⁽²⁾

STREET/ROUTE/FACILITY NAME: _____

CITY OR COUNTY: _____ DATE: _____

LENGTH OF PROJECT: _____ WIDTH: _____

LOCATION OF SURVEY: _____ WEATHER: _____

PAVEMENT TYPE: _____

NOTES: _____

(Note: a rating of "0" indicates that the distress does not occur)

<u>DISTRESS</u>	<u>RATING</u>	<u>SCORE</u>
Transverse Cracks	0 to 5	_____
Longitudinal Cracks	0 to 5	_____
Block/Multiple Cracking	0 to 10	_____
Alligator Cracks	0 to 10	_____
Shrinkage Cracks	0 to 5	_____
Rutting	0 to 10	_____
Corrugations	0 to 5	_____
Raveling	0 to 5	_____
Shoving or Pushing	0 to 5	_____
Pot Holes	0 to 10	_____
Excess Asphalt/Binder	0 to 5	_____
Polished Aggregate	0 to 5	_____
Deficient Drainage	0 to 10	_____
Overall Riding Quality (0 is excellent; 10 is very poor)	0 to 10	_____
Sum of Distresses =		_____

Condition Rating = 100 – Sum of Distresses
= 100 – _____

Condition Rating =

SOURCES:

⁽¹⁾ASPHALT PAVING DESIGN GUIDE, MAPA

⁽²⁾INFORMATION SERIES NO. 169 (IS-169), THE ASPHALT INSTITUTE

Figura 3.1: Formulário modelo para avaliação de campo. Fonte: Instituto do Asfalto, conforme IS 169 (1981).

Para a avaliação das vias do município de São Carlos, uma base de dados digitalizada do mapa da cidade foi fornecida pela Prefeitura Municipal, juntamente com algumas informações já inseridas. Foram selecionados os campos de interesse para o Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (traçado das ruas, nome das ruas, número das

quadras, número dos setores fiscais, divisão de loteamentos, limites da cidade), os quais serviram de base para os levantamentos de campo.

O mapa da cidade de São Carlos foi dividido em “folhas” (Figura 3.2) para facilitar a coleta de dados, representando uma malha de 1600m x 1000m, identificada com letras (vertical) e números (horizontal), com a finalidade de se obter, em folhas tamanho A4, uma escala adequada para visualização quando do levantamento de campo, além de um melhor controle das áreas que estão sendo avaliadas e um melhor planejamento dos deslocamentos das equipes.

A seção de avaliação corresponde, em geral, a uma quadra e tem um código único de identificação (ID), gerado nó a nó pelo programa computacional de Sistema de Informações Geográficas Aplicado a Transportes (SIG-T).

Figura 3.2: Divisão em “folhas” do mapa da cidade de São Carlos. Fonte: Zanchetta (2005).

A utilização de um SIG-T, indispensável na etapa de análise dos dados, priorização dos segmentos e seleção de estratégias de intervenções, mostrou-se muito útil desde o começo, pois tornou possível a impressão de planilhas geradas em arquivo eletrônico, já com cabeçalhos prontos, contendo dados como o nome da rua ou

avenida da seção, as esquinas de início e fim de cada segmento, o comprimento, a quadra e o setor. Outra vantagem da interface do SIG-T com a planilha eletrônica é a facilidade de entrada de dados mediante digitação, após o trabalho de campo. Uma vez digitados, os dados são transferidos para o SIG-T, para as análises de gerência de pavimentos em nível de rede.

O SIG-T deve ser usado para transformar esses dados em informações, processando-os, executando análises e realizando simulações. Com o SIG-T podem ser gerados mapas temáticos e mostrada a evolução dos defeitos ao longo do tempo. Pode, também, ser verificada a distribuição dos valores de ICP em toda malha pavimentada. O SIG-T é importante para análise e simulação, além de auxiliar a visualização espacial dos dados existentes e aqueles a serem analisados com o modelo de desempenho.

A planilha de avaliação de campo utilizada no município de São Carlos nas avaliações dos anos de 2003, 2005 e 2007 é apresentada nas Figuras 3.3, 3.4 e 3.5. A Figura 3.3 mostra os dados de inventário (cadastramento), a Figura 3.4 a avaliação subjetiva e a Figura 3.5 a avaliação objetiva.

INVENTÁRIO DA REDE VIÁRIA URBANA				
ID da Seção:		Folha:	Código da Seção:	
Nome da Via				Sentido
Da:				
Até:				
Classe Funcional:	Setor:		Quadra	
Comprimento:	Largura:		Nº de Faixas:	
Tipo de Pavimento	Tipo de Estrutura	Condição do Subleito		Tipo de Rota
Ano de Construção	Ano da Última M&R		Tipo da Última M&R	
Volume de Tráfego	Volume de Caminhões		Taxa de Crescimento	
Responsável:			Data:	

Figura 3.3: Planilha de avaliação de campo – dados de inventário (cadastrais). Fonte: Zanchetta (2005).

Na Figura 3.4 são preenchidos os campos de ICP (nesse caso, subjetivo, com valor entre zero e cem, sendo cem para a via em excelente estado. O avaliador caminha

por todo o segmento e, subjetivamente, atribui uma nota), o grau de intervenção no pavimento (extensão alta, média ou baixa dos remendos executados) da prestadora de serviços de água e esgoto (SAAE), se a seção está em condição aceitável (sim ou não), se há calçamento no passeio (sim ou não), a atividade de M&R indicada para o segmento e se há drenagem das águas pluviais (sim ou não).

AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO		
ICP:	Aceitável:	M & R Prevista:
SAAE	Calçada:	Drenagem:

Figura 3.4: Planilha de avaliação de campo – avaliação subjetiva. Fonte: Zanchetta (2005).

A Figura 3.5 mostra a avaliação objetiva. São apresentados os defeitos avaliados e suas ponderações. Os defeitos com maior peso são as trincas por fadiga, os remendos, a deformação permanente e o desgaste, pois possuem valor máximo de pontos a serem deduzidos igual a 15. Para o preenchimento dessa parte da planilha o avaliador deve considerar que metade dos pontos que podem ser deduzidos de cada defeito são relativos à extensão do defeito e a outra metade em função da severidade. Um pavimento em excelentes condições tem nota inicial igual a 100. Para ser obtido o valor do ICP objetivo (ou calculado) são somados os pontos deduzidos de cada defeito e descontado do valor inicial. Há ainda um campo para observações, caso necessário e, se houver registro fotográfico, um campo para anotar o número da foto.

A nota de ICP subjetivo tem critérios similares aos usados na definição do *PSR* dos anos 60. Após caminhar por toda a seção, o avaliador define a nota Subjetiva da seção.

Por exemplo, o defeito panela, que possui a nota de dedução máxima igual a dez pontos, teria cinco pontos como valor máximo a ser deduzido em função da severidade e cinco pontos em função extensão. Com a combinação dos pontos deduzidos da severidade e da extensão, obtém-se o total de pontos deduzidos do defeito panela. O mesmo vale para os demais defeitos. A Equação 1 exemplifica o cálculo do ICP objetivo.

$$ICP = 100 - \sum D_i \times S_j \quad (1)$$

onde:

D_{ij} : extensão da deterioração i , com o nível de severidade j ;

S_{ij} : fator de ponderação (intervalo) da deterioração i com nível de severidade j .

QUANTIFICAÇÃO DOS DEFEITOS					
TIPO DE DEFEITO	SEVERIDADE			PONTOS DEDUTÍVEIS	
				Intervalo	Avaliação
1-Trinca por fadiga (m ²)				0 a 15	
2-Trinca em bloco (m ²)				0 a 5	
3-Defeito nos bordo (m)				0 a 5	
4-Trinca longitudinal (m)				0 a 5	
5-Trinca por reflexão (m ²)				0 a 5	
6-Trincas transversais (m)				N/C	
7-Remendo (m ²)				0 a 15	
8-Panela (m ²)				0 a 10	
9-Deformação permanente (m)				0 a 15	
10-Corrugação (m)				0 a 5	
11-Exsudação (m)				0 a 5	
12-Agregados polidos (m ²)				N/C	
13-Desgaste (m ²)				0 a 15	
14-Desnível pista-acostamento(m)				N/C	
15-Bombeamento (m ²)				N/C	
OBSERVAÇÃO:					$\Sigma =$
FOTO:					ICP =

Figura 3.5: Planilha de avaliação de campo para obtenção do ICP objetivo (calculado).
Fonte: Zanchetta (2005).

Mesmo assim a nota objetiva retém um pouco de subjetividade, pois o avaliador decide por critérios próprios quantos pontos irá deduzir de cada defeito. Para que este efeito subjetivo seja diminuído e, conseqüentemente, se torne mais fácil padronizar a metodologia de avaliação, é proposta uma matriz de valores fixos com cada defeito e seus níveis de severidade e extensão. Nesta matriz, os pontos deduzidos para cada combinação de extensão e severidade serão fixos e não a critério do avaliador.

A nota de ICP subjetivo é mais antiga que a nota objetiva, pois desde o *AASHO Road Test* já vem sendo usada e é mais familiar aos avaliadores, tem conceitos mais

experimentados, ao contrário da nota de ICP objetivo, que é mais recente. Por isso é muito importante que seja compatibilizada a nota de ICP calculado com a nota de ICP subjetivo. Na pesquisa de Zanchetta (2005), em análise de reprodutibilidade e repetibilidade, as notas subjetivas apresentaram correlações mais fortes do que as correlações das notas Objetivas, o que reforça ainda mais a necessidade de aprimorar este último tipo de avaliação.

As prefeituras municipais brasileiras não possuem informações estruturais ou funcionais, sendo possível apenas obter a condição das vias por meio de avaliações em campo com identificação de defeitos presentes na superfície. Além dos dados resultantes das avaliações com uso da planilha das Figuras 3.3, 3.4 e 3.5 está prevista coleta automatizada através de filmadoras digitais. É esperado que em laboratório/escritório seja possível analisar as imagens e determinar os defeitos presentes em cada segmento. Esse procedimento visa agilizar a coleta de dados e diminuir os custos das avaliações, além de gerar um arquivo para consultas futuras e análises de desempenho dos pavimentos urbanos. Enquanto não há processo automatizado de avaliação da condição das vias, o uso de formulário em papel é a opção, porém, ajustes podem ser realizados para aumentar a eficiência deste tipo de avaliação. Um exemplo é uma planilha com apenas cinco defeitos e uma matriz de pontos que define a quantidade de pontos a serem descontados da nota inicial. A matriz de pontos se baseia no tipo de defeito, sua severidade e sua extensão, conforme se apresenta a seguir.

3.3 Obtenção do ICP com a Matriz de Valores Fixos

Apesar de ser uma nota objetiva, o ICP objetivo da Figura 3.5 ainda retém um pouco de subjetividade pois o avaliador é quem define quantos pontos serão deduzidos em cada defeito. Essa pesquisa propõe uma planilha que reduz a subjetividade da avaliação e procura minimizar seu efeito no resultado final.

A partir do uso da matriz de defeitos com valores fixos apresentada neste trabalho é possível reduzir custos de avaliação e mobilizar menos funcionários, devido ao esperado aumento na produtividade de cada avaliador. É possível, também,

incrementar o processo com a adoção de coletor eletrônico, um *palm top* ou *tablet*, por exemplo, evitando possíveis erros na digitação dos dados coletados em planilha de papel.

Dentre as opções de avaliação de um pavimento, descritas na seção 2.5, esta tese tem foco na avaliação dos defeitos da superfície do pavimento e obtenção do Índice de Condição do Pavimento (ICP). As avaliações são feitas por caminhamento e toda a seção é avaliada, e não apenas uma amostra ou porcentagem da área. Com base nos resultados obtidos e apresentados por Zanchetta (2005) foi possível escolher quais defeitos são mais frequentes para a matriz de valores fixos. São eles as trincas por fadiga, as panelas, os remendos, as deformações permanentes e os desgastes.

No mesmo sentido de avaliar menos defeitos do que os manuais normalmente sugerem, Allen *et al.* (1992) apresenta que no estado do Kentucky, EUA, as avaliações de defeitos da superfície são realizadas dentro de veículo em baixa velocidade e são avaliados trincas por fadiga, remendos, desgaste e afundamentos. Na Bélgica, de acordo com Heleven e Dirckx (1992), a coleta de dados se baseia em informações estruturais, de aderência e nos defeitos trincas, desgaste, deformações permanentes e remendos. Matos (2004), em pesquisa de SGPU em Joinville, SC, desenvolveu procedimento de avaliação de campo com base nos defeitos trincamentos, panelas e afundamentos. No Departamento de Transportes do Kansas (*KSDOT*), nos EUA, a avaliação do pavimento é realizada com base na irregularidade longitudinal, na aderência e nos defeitos da superfície - afundamentos e trincas.

Para obter maior uniformidade nas avaliações e nas notas de ICP Subjetivo e ICP Objetivo foi estabelecida uma matriz (Figura 3.6) com valores fixos para todas as combinações de severidade e extensão de cada defeito. Foi definido que um defeito com severidade média e extensão média terá o mesmo valor deduzido quando apresentar severidade alta e extensão baixa ou severidade baixa e extensão alta. O limite para a soma dos pontos das células da matriz de cada defeito é 20 (vinte) pontos. Mesmo que a soma ultrapasse esse limite, serão computados apenas 20 (vinte) pontos para cada defeito, no máximo. Assim, com 5 (cinco) defeitos, o total de pontos a serem deduzidos permanece igual aos 100 (cem) pontos da planilha da Figura 3.5. Caso um defeito não esteja presente na seção avaliada, o avaliador não

marcará nada na matriz daquele defeito e nenhum ponto será deduzido da nota inicial (a qual vale 100 pontos). Para a extensão de cada defeito, a fim de demonstrar o método proposto, foi definido que a área dos defeitos estimados como uma porcentagem da área total do segmento

		Severidade		
		B	M	A
Extensão	B	1	5	11
	M	5	11	15
	A	11	15	20

Figura 3.6: Matriz de valores fixos para dedução. Fonte: Autor.

Na Figura 3.7 pode-se observar um exemplo de uso do modelo de previsão de desempenho em que a partir de uma situação inicial genérica tem-se a condição futura. Os valores iniciais são X_{11} , X_{12} e X_{21} .

Após ser analisado pelo algoritmo do modelo de previsão de desempenho, o resultado da evolução da severidade e da extensão é representado por X'_{22} e X'_{32} . Os diferentes níveis de severidade e extensão são representados por “B, M e A”, que significam “Baixo, Médio e Alto” respectivamente.

Com os valores de todas as incógnitas conhecidos, pode-se saber o valor do ICP no futuro e, assim, alocar os recursos necessários, determinar qual atividade de M&R será usada na conservação, qual o custo envolvido e qual a nota de ICP que resultará após a realização da atividade de M&R.

Por exemplo, se X_{11} , X_{12} e X_{21} correspondessem à dedução de 1, 5 e 5 pontos, na situação inicial, a soma dos pontos deduzidos é igual a 11. Após três anos, com a ação do tráfego e das intempéries, o defeito evolui para uma situação com severidade média e extensão média e alta.

O resultado é uma matriz em que os valores são X'_{22} e X'_{32} , os quais correspondem a 11 e 15 pontos respectivamente, e somam 26 pontos a serem deduzidos. Como

explicado anteriormente, será considerado o limite de 20 pontos para o defeito desse exemplo.

		Severidade		
Extensão		B	M	A
	B	X_{11}	X_{12}	
	M	X_{21}		
	A			

Após três anos

dados de entrada
passam pelo
algoritmo.

		Severidade		
Extensão		B	M	A
	B			
	M		X'_{22}	
	A		X'_{32}	

Figura 3.7: Simulação da evolução da extensão e severidade de um defeito qualquer de acordo com o modelo de previsão de desempenho. Fonte: Autor.

Se o defeito fosse, por exemplo, trincas por fadiga, a manutenção adequada seria remendo. Portanto, considerando que o remendo seja bem executado, seriam trocados 20 pontos do defeito trincas por fadiga com severidade média e extensão média e alta por, no máximo, remendos com severidade baixa e extensão alta, com algo em torno de 11 pontos deduzidos.

O resultado é uma redução de 9 pontos no valor do ICP. Desse modo, pode-se saber qual o custo da M&R, seu efetivo impacto na nota de ICP e relacioná-lo ao conforto oferecido ao usuário.

Esse procedimento facilita o cálculo do custo do pavimento ao longo de sua vida útil. Em outra alternativa de M&R pode-se optar pelo reforço estrutural, cujo resultado é ICP igual a 100. O ideal é o reforço estrutural, mas diante de restrição orçamentária pode-se optar pelo remendo.

A Figura 3.8 ilustra esse processo.

		Severidade		
Extensão		B	M	A
	B			
	M		X'_{22}	
	A		X'_{32}	

Após M&R
Remendos bem executados nas trincas por fadiga

		Severidade		
Extensão		B	M	A
	B			
	M			
	A	X''_{31}		

		Severidade		
Extensão		B	M	A
	B			
	M		X'_{22}	
	A		X'_{32}	

Após M&R
Reforço Estrutural bem executado nas trincas por fadiga

		Severidade		
Extensão		B	M	A
	B			
	M			
	A			

Figura 3.8: Simulação do efeito de diferentes M&R na redução do ICP. Fonte: Autor.

O mesmo raciocínio pode ser aplicado aos demais defeitos que são analisados. Modelos de previsão da condição futura devem ser desenvolvidos, aperfeiçoados, calibrados, alimentados e realimentados para cada defeito que compõe o ICP, porém, os valores de referência apresentados nesta tese para o preenchimento da matriz podem ser calibrados para casos específicos, como por exemplo, um determinado município.

A Figura 3.9 mostra um exemplo de uso da matriz, com a avaliação dos 5 defeitos propostos, os pontos deduzidos de cada defeito, a soma dos pontos deduzidos de todos os defeitos e, no final, a nota de ICP resultante da diferença da nota inicial (100) e a soma dos pontos deduzidos de todos os defeitos. Há um campo para observações, caso necessário.

A partir de uma sistemática similar a essa é possível prever quais defeitos irão surgir primeiro e quando irão aparecer. É possível prever quanto será necessário alocar de recursos para as já previstas intervenções. Com a priorização das atividades preventivas, é possível manter o nível da malha em condições aceitáveis, estendendo a vida útil do pavimento, com custo abaixo do tradicional “primeiro o pior”. De acordo com Zanchetta (2005), em uma amostra de segmentos avaliados em 2003, com a planilha das Figuras 3.3, 3.4 e 3.5, o tempo médio de avaliação foi de 2min48s por segmento.

É esperado que a matriz proposta, com menos campos a serem preenchidos, reduza o tempo de avaliação e mantenha a qualidade. É necessário padronizar os dados das avaliações de campo para que as trocas de informações entre os funcionários da mesma agência ou de diferentes agências sejam facilitadas.

AVALIAÇÃO OBJETIVA DO PAVIMENTO							
DESGASTE			SEVERIDADE				
			B	M	A		
	EXTENSÃO	B				P.D. = 16	
		M	5	11			
		A					
REMENDOS			SEVERIDADE				
			B	M	A		
	EXTENSÃO	B	1			P.D. = 7	
		M	5				
		A					
TRINCAS POR FADIGA			SEVERIDADE				
			B	M	A		
	EXTENSÃO	B			11	P.D. = 20	
		M	5	11			
		A					
PANELAS			SEVERIDADE				
			B	M	A		
	EXTENSÃO	B				P.D. = 0	
		M					
		A					
DEFORMAÇÃO PERMANENTE			SEVERIDADE				
			B	M	A		
	EXTENSÃO	B				P.D. = 11	
		M		11			
		A					
SOMA DOS PONTOS DEDUZIDOS						$\Sigma =$	54
VALOR FINAL DO ICP (100 - Σ)						ICP =	46
Observações:							

Figura 3.9: Exemplo de preenchimento da planilha proposta. Fonte: Autor.

3.4 Elaboração de Planilha para Controle de Custos

As atividades de Manutenção e Reabilitação - M&R são diversas e dependem basicamente do grau de deterioração do pavimento, dos defeitos encontrados e a severidade e extensão, da condição mínima aceitável e dos recursos disponíveis. É importante que a opção por uma M&R seja independente de fatores políticos.

São apresentadas as alternativas de M&R propostas para a conservação da malha pavimentada do município de São Carlos. As opções de intervenção (atividade de M&R) analisadas foram:

- NF – Nada a Fazer;
- MP – Manutenção Preventiva (aplicar camada de lama asfáltica);
- MC – Manutenção Corretiva (fresagem de capa, pintura de ligação com RR-2C e recomposição em CBUQ, serviço descontínuo, localizado);
- RF – Reforço Estrutural (fresagem de capa, pintura de ligação com RR-2C e recomposição em CBUQ, serviço contínuo, toda a seção);
- RC – Reconstrução (fresagem de capa e demolição de estrutura de pavimento flexível, com reconstrução da base, pintura de ligação em RR-2C e aplicação de nova camada de rolamento em CBUQ)

Normalmente, as empresas da iniciativa privada que administram malhas viárias, como por exemplo, as concessionárias de rodovias, fazem a previsão orçamentária para um período de alguns anos (planejamento de médio e longo prazo). Para auxiliar agências públicas no planejamento das atividades necessárias para manutenção das vias urbanas é apresentada uma planilha com a composição de alguns serviços comuns na realização das atividades de M&R.

Os custos dos serviços foram estimados de acordo com o custo unitário da M&R necessária multiplicado pela área com necessidade de intervenção.

A Tabela 3.1 mostra a combinação, de forma resumida, da inter-relação entre defeito, nível de severidade e nível de extensão, atividade de M&R necessária, área com necessidade de intervenção e custo por metro quadrado. Foi adotada uma seção tipo

com medidas de 100m de comprimento por 8m de largura, com uma área de 800m². A área que necessita de intervenção é uma porcentagem da área total da seção e é função do tipo de defeito e de sua severidade e extensão. Os valores das áreas são pré-determinados mas podem ser reavaliados e calibrados sempre que necessário.

Pode-se notar que o defeito trincas por fadiga, na Tabela 3.1, com severidade baixa e extensão média, apresenta como solução de M&R “MP” (Manutenção Preventiva).

A área em metros quadrados para a solução MP é a área total do segmento com aplicação de lama asfáltica. Para as demais células da planilha cada combinação de defeito, severidade e extensão possui uma sugestão de M&R e, a esta solução, está associada uma área pré-definida.

A área pré-definida pode ser a área total do segmento caso a M&R sugerida for MP, RF ou RC, ou, ainda, pode ser a área do segmento que apresenta tal defeito caso a M&R sugerida seja MC. Mesmo para MC a área de intervenção é pré-definida para fins de estimativa de custos de raparo.

Para a definição das atividades de M&R para cada situação foram utilizados os critérios encontrados na apostila do curso de “Conservação Rodoviária” da Escola de Engenharia de São Carlos, publicada por Fernandes Júnior, Oda e Zerbini (2001).

O custo unitário para cada M&R apresentada nesta tese foi obtido na Tabela de Preços Unitários do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, data base de dezembro de 2016 (TPU – DER/SP Dez 2016). A M&R Remendo custa R\$113,49 / m² e a M&R Reforço Estrutural custa R\$ 75,92 / m². Deve ser verificado pela administração pública caso a caso quando é economicamente melhor tapa-buracos ou remendos em grandes áreas em comparação aos resultados obtidos pelo reforço estrutural.

A análise para justificar a escolha da M&R deve ser com base na vida útil do pavimento e não apenas no custo inicial. Na análise econômica é importante que não haja sobreposição de custos de M&R no mesmo segmento de pista. Por exemplo, em um segmento que sejam identificadas painelas com severidade média e extensão baixa,

a M&R indicada, conforme Tabela 3.1, é a Manutenção Corretiva – MC, porém, se no mesmo segmento forem identificadas trincas por fadiga com extensão alta e severidade alta, a M&R indicada é a Reconstrução – RC de todo o segmento. Nesse caso, deve-se apenas considerar os custos da M&R Reconstrução, sem somar os custos manutenção corretiva, pois as painéis serão reparadas pela Reconstrução.

Tabela 3.1: Resumo dos custos unitários e área de cada M&R em função de cada defeito. Valores conforme TPU DER/SP Dez/2016. Fonte: Autor.

TRINCAS POR FADIGA									
SEVERIDADE									
	BAIXA (B)			MÉDIA (M)			ALTA (A)		
EXTENSÃO	B	M	A	B	M	A	B	M	A
M&R	NF	MP	RF	MC	MP	RF	MC	RF	RC
ÁREA (m²)	0	800	800	50	800	800	50	800	800
R\$/m²	0	7,01	75,92	113,49	7,01	75,92	113,49	75,92	128,36
PANELAS									
SEVERIDADE									
	BAIXA (B)			MÉDIA (M)			ALTA (A)		
EXTENSÃO	B	M	A	B	M	A	B	M	A
M&R	MC	MC	RF	MC	RF	RC	MC	RF	RC
ÁREA (m²)	10	60	800	10	800	800	10	800	800
R\$/m²	113,49	113,49	75,92	113,49	75,92	128,36	113,49	75,92	128,36
REMENDOS									
SEVERIDADE									
	BAIXA (B)			MÉDIA (M)			ALTA (A)		
EXTENSÃO	B	M	A	B	M	A	B	M	A
M&R	NF	NF	MP	NF	MP	MP	MC	RF	RF
ÁREA (m²)	0	0	800	0	800	800	50	800	800
R\$/m²	0	0	7,01	0	7,01	7,01	113,49	75,92	75,92
DESGASTE									
SEVERIDADE									
	BAIXA (B)			MÉDIA (M)			ALTA (A)		
EXTENSÃO	B	M	A	B	M	A	B	M	A
M&R	NF	NF	MP	NF	NF	MP	MC	MP	MP
ÁREA (m²)	0	0	800	0	0	800	50	800	800
R\$/m²	0	0	7,01	0	0	7,01	113,49	7,01	7,01
DEFORMAÇÃO PERMANENTE									
SEVERIDADE									
	BAIXA (B)			MÉDIA (M)			ALTA (A)		
EXTENSÃO	B	M	A	B	M	A	B	M	A
M&R	NF	NF	MP	MC	MP	RF	MC	RF	RC
ÁREA (m²)	0	0	800	50	800	800	50	800	800
R\$/m²	0	0	7,01	113,49	7,01	75,92	113,49	75,92	128,36

A seguir é mostrada na Tabela 3.2 a composição dos serviços de cada atividade de M&R e os preços unitários de cada item. Os preços unitários têm como base a Tabela

de Preços Unitários do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (TPU/DER – SP) com data base de dezembro de 2016. A camada de base do pavimento poderá ser escolhida de acordo com o subleito e demais características locais. Para a composição do M&R Reconstrução (RC) foi utilizada como camada de base a Brita Graduada Simples – BGS.

Tabela 3.2: Composição dos serviços com base na TPU DER SP Dez/2016. Fonte: Autor.

CÓDIGO DER/SP	SERVIÇOS - TPU DER/SP DEZEMBRO/2016	UNID	QUANT. (para 1m ²)	PREÇOS (R\$)	
				P.U.	P. T.
	NADA A FAZER (NF)	não se aplica			
	MANUTENÇÃO PREVENTIVA (MP)				
23.06.05.99	Tratamento superficial com lama asfáltica	m ²	1,00	7,01	7,01
	MICRORREVESTIMENTO A FRIO (MRF)				
23.06.04.99	MRF com polímero e fibra	m ²	1,00	17,00	17,00
	MANUTENÇÃO CORRETIVA (MC)				
23.10.01.99	fresagem da capa (e=7cm)	m ³	0,07	173,38	12,14
37.02.25.99	transporte mat. 1ª/2ª categ. até 15 km**	m ³ xkm	1,26	1,64	2,07
23.05.02.99	pintura de ligação	m ²	1,00	2,39	2,39
37.03.15.99	camad rolam. panos s/dop e=7cm CBUQ	m ³	0,07	916,55	64,16
	(serviço descontínuo)				80,75
37.03.01.99	remendo pré mist. quente e=7cm	m ³	0,07	1.621,25	113,49
	(serviço descontínuo)				
	REFORÇO ESTRUTURAL (RF)				
23.10.01.99	fresagem da capa (e=7cm)	m ³	0,07	173,38	12,14
37.02.25.99	transporte mat. 1ª/2ª categ. até 15 km**	m ³ xkm	1,26	1,64	2,07
23.05.02.99	pintura de ligação	m ²	1,00	2,39	2,39
23.08.03.03.99	camada rolamento (fx C com dop)	m ³	0,07	847,52	59,33
					75,92
	RECONSTRUÇÃO (RC)				
23.10.01.99	fresagem da capa (7cm)	m ³	0,07	173,38	12,14
37.02.25.99	transporte mat. 1ª/2ª categ. até 15 km**	m ³ xkm	1,26	1,64	2,07
21.05.07	Demolição de pavimento flexível com transporte	m ³	0,20	35,10	7,02
23.04.03.01.99	BGS	m ³	0,20	194,76	38,95
23.05.01.99	pintura impermeabilização	m ²	1,00	6,47	6,47
23.05.02.99	pintura de ligação	m ²	1,00	2,39	2,39
23.08.03.03.99	camada rolamento (fx C com dop) 7cm	m ³	0,07	847,52	59,33
**empolamento do fresado = 20%					128,36

Além das opções de M&R apresentadas no início do item 3.4, a Tabela 3.2 apresenta a possibilidade de usar microrrevestimento a frio (MRF), porém, será necessário o estudo de sua viabilidade devido à necessidade do pavimento resistir a esforços horizontais cisalhantes, resultantes de veículos em curvas de raio curto, situação comum em áreas urbanas e não tão comum em rodovias.

3.5 Desenvolvimento do Modelo de Previsão de Desempenho dos Pavimentos

A elaboração do modelo de previsão de desempenho dos pavimentos urbanos é com base na análise de séries históricas dos dados das avaliações de campo realizadas em São Carlos. Os dados disponíveis são os defeitos encontrados na superfície e o ICP. As avaliações de campo foram realizadas em 2003, 2005 e 2007. Com os dados de 2003 e 2005 o modelo foi desenvolvido. Para a validação do modelo é utilizado critério similar ao utilizado pelo Departamento de Transportes do Texas (*TxDOT*), EUA. Conforme Peddibhotla, Murphy e Zhang (2011), o *TxDOT*, em parceria com a Universidade do Texas em Austin, em pesquisa para validação e implementação de modelo de previsão de desempenho estrutural de pavimentos rodoviários, utilizou o teste t de *Student* e a correlação. O teste t de *Student* analisa as médias globais das amostras, enquanto a correlação analisa os dados das séries par a par. Uma vez elaborado o modelo com os dados de 2003 e 2005, é realizada previsão de desempenho para um período de análise de 2 anos a partir de 2005. Os resultados dessa previsão são comparados com os dados reais das avaliações de 2007. Nesta tese o modelo de previsão de desempenho de pavimentos urbanos é validado por meio da estatística t de *Student* e pela correlação entre as séries previstas pelo modelo e dados reais de campo.

3.6 Origem dos Dados com Base no SGPU do Distrito Federal

Esta tese apresenta, também, uma base de dados e informações obtidos do Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos – SGPU assistido por um SIG-T da Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil – Novacap. A Novacap é a empresa que construiu Brasília e ainda hoje é responsável pela pavimentação em todas as vias da área urbana do Distrito Federal. São apresentados todos os procedimentos e

premissas utilizados pela Novacap para aplicação de seu SGPU e, também, uma breve descrição do sistema viário do Distrito Federal. Desde junho de 2015 o autor desta tese é Assessor da Diretoria de Urbanização da Novacap e trabalha diretamente com o SGPU da empresa. Os defeitos da superfície dos pavimentos registrados pelas avaliações de campo realizadas pela Novacap são aqueles presentes no Manual de Identificação de Defeitos do *Strategic Highway Research Program – SHRP*. Os defeitos da superfície do pavimento (com estrutura flexível) considerados são:

- Trincas por fadiga
- Trincas em bloco
- Defeitos nos bordos
- Trincas longitudinais
- Trincas por reflexão
- Trincas transversais
- Remendos
- Painelas
- Deformações plásticas permanentes
- Corrugação
- Exsudação
- Agregados polidos
- Desgaste
- Desnível pista-acostamento
- Bombeamento

Além do tipo de defeito, o manual *SHRP* também considera três níveis de severidade dos defeitos e três níveis de extensão. Os níveis, tanto de severidade quanto de extensão, variam entre baixo, médio e alto. Na Tabela 3.3 estão apresentados os 15 defeitos, características, níveis de severidade e como medir as avaliações de campo do SGPU da Novacap no Distrito Federal, conforme Fernandes Júnior, Oda e Zerbini (2001). É importante ressaltar que os defeitos forem quantificados exclusivamente em função da área estimada de ocorrência, ainda que no Manual *SHRP* haja indicação de registro por número de ocorrência. Essa decisão se justifica para a gerência de vias em nível de rede, com adequada acurácia.

Para avaliar as vias, obter os dados de inventário e cadastrar os defeitos encontrados, a Novacap se utiliza de uma planilha impressa e preenchida por um avaliador. O avaliador é previamente treinado por um especialista em gerência de pavimentos urbanos.

A Novacap, desde 2009, possui um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos – SGPU cuja rotina inclui avaliações da condição da superfície dos pavimentos e a indicação da M&R mais adequada para cada segmento de pista. A indicação da M&R é dada a partir de uma árvore de decisões própria do SGPU que considera a nota da avaliação de campo - ICP, a idade do pavimento e seu tráfego.

Tabela 3.3: Descrição de defeitos, severidades e como medir com base no Manual SHRP de 1993. Fonte: Fernandes Júnior, Oda e Zerbini (2001).

DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEIS DE SEVERIDADE	COMO MEDIR
TRINCAS POR FADIGA DO REVESTIMENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas submetidas a cargas de tráfego • Forma “couro de crocodilo” ou “tela de galinheiro” • Espaçamento inferior a 30cm 	<ul style="list-style-type: none"> • BAIXA: poucas trincas conectadas, sem erosão nos bordos e sem evidência de bombeamento • MÉDIA: trincas conectadas e bordos levemente erodidos, mas sem evidência de bombeamento • ALTA: trincas erodidas nos bordos, movimentação nos blocos quando submetidos ao tráfego e com evidências de bombeamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar a área afetada (m²) para cada nível de severidade.
TRINCA EM BLOCOS	<ul style="list-style-type: none"> • Trincas que dividem o pavimento em pedaços aproximadamente retangulares • Tamanho dos blocos: 0,1 a 10m² 	<ul style="list-style-type: none"> • BAIXA: trincas com aberturas média inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições • MÉDIA: trincas com abertura média entre 6 e 19 mm ou trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa • ALTA: trincas com abertura média superior a 19 mm ou trincas aleatórias adjacentes com severidade alta 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar a área afetada (m²) para cada nível de severidade.

DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEIS DE SEVERIDADE	COMO MEDIR
TRINCAS NOS BORDOS	<ul style="list-style-type: none"> • Apenas para pavimentos com acostamentos não pavimentados • Dentro de uma faixa de 60 cm a partir da extremidade do pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> • BAIXA: sem perda de material ou despedaçamento • MÉDIA: perda de material e despedaçamento de 10% da extensão afetada 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar a extensão afetada (m) para cada nível de severidade.
TRINCAS LONGITUDINAIS	<ul style="list-style-type: none"> • Trincas predominantemente paralelas ao eixo, podendo se localizar dentro ou fora das trilhas de roda 	<ul style="list-style-type: none"> • BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6mm ou seladas com material selante em boas condições • MÉDIA: trincas com abertura entre 6 e 19mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa. • ALTA: trincas com abertura média superior a 19 mm ou trincas com abertura média inferior a 19mm mas com trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar a extensão (m) das trincas longitudinais e os níveis de severidade correspondentes (nas trilhas de roda ou fora delas). • Registrar a extensão com selante em boas condições.
TRINCAS POR REFLEXÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Reflexão de trincas ou juntas das camadas inferiores • Recapeamento ou pavimentos novos (contração da base) 	<ul style="list-style-type: none"> • BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6mm ou seladas com materiais selante em boas condições • MÉDIA: trincas com abertura entre 6 e 19mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa. • ALTA: trincas com abertura média superior a 19mm ou trincas com abertura média inferior a 19mm mas com trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar, em separado, as trincas transversais e longitudinais. • Registrar o nº de trincas transversais. • Registrar a extensão das trincas e os níveis de severidade. • Registrar a extensão com selante em boas condições.

DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEIS DE SEVERIDADE	COMO MEDIR
TRINCAS TRANSVERSAIS	<ul style="list-style-type: none"> • Trincas com predominância perpendiculares ao eixo • Severidade de uma trinca: adotar a mais elevada, desde que represente 10% da extensão 	<ul style="list-style-type: none"> • BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6mm ou seladas com materiais selante em boas condições • MÉDIA: trincas com abertura entre 6 e 19mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa. • ALTA: trincas com abertura média superior a 19mm ou trincas com abertura média inferior a 19mm com trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta. • 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar n° de trincas, a extensão e os níveis de severidade correspondentes • Registrar a extensão com selante em boas condições.
REMENDOS	<ul style="list-style-type: none"> • Porção da superfície do pavimento, maior que 0,1m², removida e substituída ou material aplicado ao pavimento após a construção inicial 	<ul style="list-style-type: none"> • Função da severidade dos defeitos apresentados pelo remendo 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar o número de remendos e a área afetada (m²) para cada nível de severidade.
PANELAS	<ul style="list-style-type: none"> • Buracos resultantes de desintegração localizada sob a ação do tráfego e em presença de água • Fragmentação, causada por trincas por fadiga ou desgaste, e remoção localizada de partes do revestimento 	<ul style="list-style-type: none"> • BAIXA: profundidade menor que 25 mm • MÉDIA: profundidade entre 25 e 50 mm • ALTA: profundidade maior que 50 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar o n° de panelas e a área afetada por cada nível de severidade.

DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEIS DE SEVERIDADE	COMO MEDIR
DEFORMAÇÃO PERMANENTE	<ul style="list-style-type: none"> • Depressão longitudinal nas trilhas de roda, em razão de densificação dos materiais ou ruptura por cisalhamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Substituídos pelas medições da deformação permanente a cada 15 m 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar a máxima deformação permanente nas trilhas de roda.
CORRUGAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Deformação plástica caracterizada pela formação de ondulações transversais na superfície do pavimento • Causada por esforços tangenciais (frenagem ou aceleração) 	<ul style="list-style-type: none"> • Associados aos efeitos sobre a qualidade do rolamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar o número de ocorrências e a área afetada (m²).
EXSUDAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> • BAIXA: mudança de coloração em relação ao restante do pavimento devido ao excesso de asfalto • MÉDIA: perda de textura superficial. • ALTA: aparência brilhante; marcas de pneus evidentes em tempo quente; agregados coberto por asfalto 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar a área afetada (m²) para cada nível de severidade.
AGREGADOS POLIDOS	<ul style="list-style-type: none"> • Polimento (desgaste) dos agregados e do ligante betuminoso e exposição dos agregados graúdos • Comprometimento da segurança: redução do coeficiente de atrito pneu-pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> • Níveis de polimento podem ser associados à redução no coeficiente de atrito pneu-pavimento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar a área afetada (m²).

DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEIS DE SEVERIDADE	COMO MEDIR
DESGASTE	<ul style="list-style-type: none"> • Perda de adesividade do ligante betuminoso e desalojamento dos agregados • Envelhecimento, endurecimento, oxidação, volatilização, intemperização 	<ul style="list-style-type: none"> • BAIXA: início do desgaste, com perda de agregados miúdos • MÉDIA: textura superficial torna-se áspera, com perda de agregados miúdos e de alguns graúdos • ALTA: textura superficial muito áspera, com perda de agregados graúdos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar a área afetada (m²) para cada nível de severidade.
DESNÍVEL (DEGRAU) ENTRE PISTA E ACOSTAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Diferença de elevação entre a faixa de tráfego e o acostamento: camadas sucessivas de revestimento asfáltico; erosão de acostamento não pavimentado; consolidação diferencial 	<ul style="list-style-type: none"> • Substituídos pelas medições de desnível 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar o desnível (mm) a cada 15 m, ao longo de interface pista-acostamento.
BOMBEAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Saída de água pelas trincas do pavimento sob a ação das cargas do tráfego • Identificado pela deposição á superfície, de material carreado das camadas inferiores 	<ul style="list-style-type: none"> • Não aplicáveis porque o bombeamento depende do teor de umidade das camadas inferiores do pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar o n° de ocorrências e a extensão afetada (m²).

Nas Figuras 3.10 e 3.11 estão apresentadas as planilhas de avaliação de campo utilizadas para as anotações dos dados de inventário e da condição da superfície das vias. Os principais dados de inventário são a localização da via, sua geometria – largura e comprimento, idade – se possível, presença de equipamentos de drenagem de águas pluviais, presença ou não de calçada e meio-fio, se há rotas de ônibus.

Quanto à avaliação da condição da superfície do pavimento com base em seus defeitos, são identificados os 15 possíveis tipos, sua severidade e extensão. Também é sugerida uma atividade de Manutenção e Reabilitação – M&R, anota-se o tipo da última M&R – quando perceptível. Ainda na planilha de avaliação, atribui-se uma nota

subjetiva à condição da via para se obter o Índice de Condição do Pavimento Subjetivo e são definidos pontos dedutíveis, com base nos defeitos da via, a fim de se obter o Índice de Condição do Pavimento Objetivo.

Pode-se estender o conceito de um SGPU para gerência de infraestrutura, com a inclusão de serviços prestados por concessionárias, tais como água, esgoto, lógica, gás etc.

Também, em um SGPU, são analisadas opções de manutenção preventiva, tais como rejuvenescimento do CAP com aplicação de lama asfáltica ou microrrevestimento, opções mais eficientes economicamente, ao contrário do que se faz normalmente nas cidades brasileiras, que são apenas operações tapa-buracos e recapeamentos.

Em resumo, um SGPU busca apresentar soluções técnicas para pavimentação que mantém o pavimento na melhor condição possível ao menor custo, considerando toda sua vida útil e não apenas o custo inicial de construção.

Além do ICP, é atribuído um conceito para cada segmento de pista. O conceito possui cinco níveis, desde muito bom até muito ruim. As vias são subdivididas em cinco categorias, porém, estão sob responsabilidade da Novacap apenas as vias arteriais, coletoras e locais. As rodovias e as vias de trânsito rápido são de responsabilidade do Departamento de Estradas de Rodagem - DER do Distrito Federal.

Quanto ao tipo de pavimento, a opção “Inexistente” refere-se à situação em que, por exemplo, houve o cadastro de um segmento de pista com base na informação de um projeto, mas esse projeto não se concretizou e, apenas durante a avaliação de campo verificou-se que o segmento, de fato, não existe. Nesse caso, o segmento é excluído do inventário.

O tipo de estrutura não é determinado pelo avaliador, pois não é possível definir qual o tipo de camada que está sob o revestimento e qual a sua espessura, ainda que seja possível visualizar a camada de base no caso de existir uma panela no segmento.

☐ Checagem ☐ Alteração (croqui) ☐ Desativado ☐ Exclusão

INVENTÁRIO DA REDE VIÁRIA URBANA		
Segmento de Pista:	Data Análise:	Código Mapa:
Nome da Rua:	Comprimento (m):	Número de Faixas:
Da:	Até:	
Sentido do Tráfego: ☐ Duplo ☐ → ☐ ←	Largura (m): ☐ 5 ☐ 7,5 ☐ 10 ☐ 14 ☐ _____	
Idade:	Ano da Última M & R:	Tipo da Última M & R: ☐ NF ☐ MC ☐ MP ☐ RF ☐ RC
Poço de Visita: ☐ Saliente ☐ Rebaixado	Interferência de Raiz: ☐ Sim ☐ Não	Outra Interferência:
Boca de Lobo: ☐ Sim ☐ Não	Estacionamento: ☐ Sim ☐ Não ☐ Parcial	Condição: ☐ Ruim ☐ Regular ☐ Boa
Meio-Fio: ☐ Sim ☐ Não ☐ Parcial	Calçada: ☐ Sim ☐ Não ☐ Parcial	Drenagem: ☐ Sim ☐ Não ☐ Parcial
Condição: ☐ Ruim ☐ Regular ☐ Boa	Condição: ☐ Ruim ☐ Regular ☐ Boa	Condição: ☐ Ruim ☐ Regular ☐ Boa
Tipo de Pavimento: ☐ 1 = Flexível ☐ 2 = Rígido ☐ 3 = Paralelepípedo ☐ 4 = Pedra Irregular ☐ 5 = Blocos de Concreto ☐ 6 = Não Pavimentado ☐ 7 = Inexistente		Classe Funcional: ☐ 1 = Rodovias ☐ 2 = Vias de Trânsito Rápido ☐ 3 = Vias Arteriais ☐ 4 = Vias Coletoras ☐ 5 = Vias Locais Velocidade da Via: _____ Km/h
Subleito: ☐ 1 = fraco ☐ 2 = médio ☐ 3 = resistente		Estrutura: ☐ A = flexível e E1 ☐ B = flexível e E2 ☐ C = flexível e E3 ☐ D = flexível e E4
Volume de Tráfego: ☐ 1 = Muito Alto (VDM > 30.000) ☐ 2 = Alto (15.000 < VDM ≤ 30.000) ☐ 3 = Médio (5.000 < VDM ≤ 15.000) ☐ 4 = Baixo (1.000 < VDM ≤ 5.000) ☐ 5 = Muito Baixo (VDM ≤ 1.000) Veículos Pesados: _____ %		Tipo de Rota: ☐ 0 = Nenhuma ☐ 1 = Ônibus ☐ 2 = Ambulância ☐ 3 = Caminhões de lixo ☐ 4 = Função social ☐ 5 = Outra

Figura 3.10: Planilha de avaliação de campo – Inventário da malha viária. Fonte: SGPU Novacap.

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)				

☐ Muito Ruim 0 a 30	☐ Ruim 30 a 50	☐ Regular 50 a 70	☐ Bom 70 a 90	☐ Muito Bom 90 a 100	ICP Subjetivo:
Aceitável: ☐ Sim ☐ Não		M & R Prevista: ☐ NF ☐ MC ☐ MP ☐ RF ☐ RC			
Observações:					
Avaliação Compl.: ☐ Sim ☐ Não		Responsável:			

Figura 3.11: Planilha de avaliação de campo - Defeitos da superfície. Fonte: SGPU Novacap.

3.7 Origem dos Dados da Cidade de San Antonio, Texas, Estados Unidos

Nesta tese, além dos dados coletados no Brasil, em São Carlos e no Distrito Federal, foi possível, também, por meio do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior – PDSE da CAPES, ter acesso aos dados da cidade norte americana de San Antonio, no estado do Texas, particularmente referente ao SGPU.

O gerente de manutenção viária da Prefeitura Municipal forneceu dados da metodologia utilizada em San Antonio. A avaliação da condição das vias é o ponto de partida para a definição das M&R a serem aplicadas.

Os dados são referentes a:

- técnicas e critérios de avaliação da condição das vias urbanas;
- recursos investidos em avaliações e objetivos da administração para a malha viária no médio e longo prazo;
- registros fotográficos que ilustram segmentos de pista em diferentes estágios de deterioração;
- registros fotográficos que exemplificam como são aplicadas as diferentes atividades de M&R; e
- conjunto de atividades de M&R em função do ICP e da Classe Funcional de cada segmento de pista.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DE SÃO CARLOS/SP E DE SAN ANTONIO, TEXAS, EUA

Nesse capítulo são apresentados, separadamente:

- os resultados das avaliações realizadas em São Carlos durante o ano de 2003. São 5800 segmentos analisados;
- a análise dos dados de uma amostra de 220 segmentos avaliados em 2003, 2005 e 2007 no município de São Carlos;
- as considerações sobre procedimentos para avaliação da condição das vias pavimentadas em áreas urbanas;
- a proposta de um modelo de previsão de desempenho para pavimentos urbanos com base nos dados de São Carlos;
- uma análise econômica para previsão de recursos necessários para atividades de M&R para os dados de São Carlos;
- as considerações gerais sobre atividades de M&R com base em dados de São Carlos e do SGPU de San Antonio, Texas, EUA.

4.1 Análise dos resultados dos dados do Município de São Carlos

Na Tabela 4.1 são apresentados os defeitos encontrados nas vias de São Carlos durante o ano de 2003. O município possuía 7.112 segmentos, dos quais 5800 com revestimento asfáltico e são avaliados. Os demais segmentos eram em paralelepípedo, blocos de concreto, pavimento rígido, não-pavimentado, vias particulares de condomínios ou não estavam sob administração da Prefeitura Municipal de São Carlos e, portanto, não foram avaliados.

Os defeitos mais frequentes são desgaste, que ocorre em 96,6% dos segmentos, remendos, encontrados em 78,4% das vias, trincas por fadiga (38,9%) e panelas (31,8%). Os demais defeitos estão presentes em porcentagem inferior a 20% quando analisados individualmente. O defeito desgaste, o mais frequente (96,6%), tem pouca interferência na qualidade das vias urbanas quando em severidade baixa ou média. Os defeitos nos bordos estão presentes em 18,0% das vias, porém, seu mecanismo

de surgimento está mais associado às raízes de árvores que causam elevação da estrutura do pavimento do que ao tráfego ou intempéries. As deformações permanentes podem estar associadas a problemas construtivos, subdimensionamento ou projetos de mistura asfáltica com elevada fluência. Os demais defeitos, trincas em bloco, trincas longitudinais, corrugação e exsudação tem baixa frequência de ocorrência.

Tabela 4.1: Defeitos encontrados nas vias de São Carlos em 2003. Fonte: Autor.

DEFEITO	2003	
	Total	%
Trinca por fadiga	2.257	38,9
Trinca em bloco	58	1,0
Defeito nos bordos	1.043	18,0
Trinca longitudinal	292	5,0
Remendo	4.548	78,4
Panela	1.843	31,8
Deform. permanente	699	12,1
Corrugação	95	1,6
Exsudação	182	3,1
Desgaste	5.602	96,6
Total de seções avaliadas	5.800	

A ênfase da análise dos defeitos neste capítulo é com base no mecanismo de deterioração dos pavimentos flexíveis.

Tendo em vista o mecanismo de deterioração dos pavimentos flexíveis, em que primeiro surgem as trincas por fadiga devido às deflexões repetidas do revestimento, que essas trincas evoluem em extensão e severidade e se transformam em painéis e, ainda, que as painéis recebem remendos como manutenção, é possível assumir que:

- no município de São Carlos quase 40% das vias apresentam problemas estruturais pelo excesso de trincas por fadiga;

- o trincamento por fadiga evolui para panelas, considerando que a porcentagem de ocorrência desses defeitos é próxima, 38,9% para trincas por fadiga e 31,8% para panelas; e
- a atividade de M&R mais frequente é o remendo. Não há manutenção preventiva ou reparos nas trincas a fim de evitar que estas evoluam para panelas.

A principal consequência de deixar as trincas por fadiga evoluírem para panelas é que as panelas permitem a infiltração da água das chuvas nas camadas de base, sub-base e subleito, com enfraquecimento de toda estrutura. Nessa condição, sem remendo nas trincas por fadiga, a serventia do pavimento diminui rapidamente e torna necessário um precoce reforço estrutural ou reconstrução. Ou, ainda, são realizados remendos com bastante frequência, e muitas vezes de péssima qualidade, com prejuízos ao conforto, segurança e economia dos usuários e, ainda, com constantes interrupções de tráfego para realizar os remendos.

Esses dados estão em consonância com a experiência de outras pesquisas, conforme seção 2.7, que indicam que a operação tapa-buracos é uma das atividades de M&R mais frequente nas vias públicas dos municípios brasileiros.

Do ponto de vista ambiental, pavimentos mais duradouros resultam em menor consumo de insumos ao longo tempo (agregados, CAP, emulsão asfáltica, asfalto recortado), menor consumo de energia oriunda de combustíveis fósseis (combustível para caminhões, pás carregadeiras, motoniveladoras, rolos compactadores, aquecimento de CAP, secagem de agregados, usinagem de CAUQ etc.).

Pavimentos mais duráveis e adequadamente mantidos tem potencial de serem mais eficientes socioeconomicamente, ambientalmente e para a saúde pública, com menor emissão de gases tóxicos inerentes à pavimentação com materiais asfálticos.

A análise dos 5.800 segmentos de pista avaliados em 2003 apresenta uma distribuição de notas de Índice de Condição do Pavimento – ICP tal que:

- 3.761 (64,85% do total) segmentos possuem ICP Subjetivo igual ou superior a 85 e 2.039 segmentos (35,15% do total) apresentam nota de ICP Subjetivo inferior a 85.
- 4.419 (76,19% do total) segmentos tiveram nota de ICP Objetivo maior ou igual a 85 e em 1.381 (23,81% do total) segmentos a nota de ICP Objetivo foi menor do que 85.

A maior quantidade de segmentos com ICP Objetivo maior ou igual a 85 pode ser explicada pelo fato de que o avaliador, quando encontra um segmento que apresenta poucos defeitos, porém com extensão e severidade elevados, pode dar uma nota de ICP Subjetivo baixa, porém, devido ao limite de pontos a serem deduzidos em cada defeito e ao número de defeitos incluídos na planilha de avaliação que não ocorrem no segmento de pista, a nota de ICP Objetivo pode ficar superior.

Com base nesses resultados pode-se considerar que menos defeitos na avaliação objetiva tende a aproximar os ICP Subjetivo e Objetivo. Em uma avaliação objetiva que considera apenas os cinco defeitos mais frequentes, por exemplo, há menos pontos que não serão deduzidos se comparado com uma avaliação em que há muitos defeitos a serem avaliados, cuja frequência de ocorrência é baixa. Por isso, é provável que a nota objetiva, com base nos pontos deduzidos, seja mais próxima da nota subjetiva quando há menos defeitos a serem avaliados.

Quanto às atividades de M&R indicadas pelos avaliadores, 3.170 segmentos tiveram Nada a Fazer - NF, 1.992 Manutenção Corretiva - MC, 379 Manutenção Preventiva - MP, 222 Reforço Estrutural - RF e 37 Reconstrução - RC. As indicações de NF são coerentes considerando a quantidade de segmentos cujo ICP é superior a 85, seja o Subjetivo ou o Objetivo. Do total de 5.800 segmentos, o fato de 1.992 (34,34%) necessitarem de MC também é coerente com a porcentagem de segmentos com painéis, cuja manutenção mais adotada é o remendo.

4.2 Análise dos dados de uma amostra de 220 segmentos avaliados em 2003, 2005 e 2007 no município de São Carlos

Na amostra são 62 vias Arteriais, 134 Coletoras e 24 Locais. O ICP Subjetivo médio foi 86, 85 e 84 e, o ICP Objetivo médio foi 89, 88 e 85, nos anos de 2003, 2005 e 2007, respectivamente.

Na Tabela 4.2 são apresentados os defeitos encontrados na superfície dos pavimentos flexíveis no município de São Carlos durante os anos de 2003, 2005 e 2007. Nessa análise é considerada uma amostra de 220 segmentos. São apresentados os 10 defeitos avaliados.

Na primeira coluna de cada defeito aparecem os anos das avaliações. Na segunda coluna está a quantidade de segmentos que apresentaram o defeito com severidade baixa, independentemente da extensão. Na terceira coluna está a quantidade de segmentos com severidade média e, na próxima coluna, a quantidade de segmentos com severidade alta. Na quinta coluna aparece o número total de segmentos que apresentam o defeito, independentemente da severidade ou extensão.

Como em um segmento pode ocorrer o mesmo defeito com mais de uma combinação de severidade e extensão, a soma dos segmentos, em cada severidade pode ser maior que o número total de segmentos que apresentam o defeito em análise. Na última coluna, chamada “SPD” está a Soma dos Pontos Deduzidos daquele defeito, conforme avaliação objetiva (Figura 3.5).

Para os principais defeitos, trincas por fadiga, panelas e remendos, o SPD é sempre crescente ao longo dos anos. Além da quantidade de segmentos que apresentam os defeitos ser crescente ano a ano, pode-se notar que as trincas por fadiga apresentam, também, quantidade crescente de segmentos com severidade média e alta. Isso sugere que a condição estrutural das vias se deteriora ano a ano.

Para o defeito panelas, pode-se notar que o número de segmentos com o defeito é sempre crescente, porém, mais notadamente nas severidades baixa e média, o que indica que há operações tapa-buracos principalmente nas panelas com severidade

alta, mas os pontos deduzidos são crescentes ao longo dos anos, o que mostra a ineficiência no controle das panelas.

O defeito remendos, presente quase constantemente em 80% dos segmentos, permite inferir que a manutenção mais comum é a operação tapa-buracos e que a quantidade de remendos mal executados, com severidade média e alta, é crescente ao longo do tempo, com prejuízos à qualidade de rolamento, ao conforto, à segurança e à economia dos usuários. Assim, a condição da malha viária fica pior a cada ano e os defeitos progridem em severidade, extensão, ou ambos.

Tabela 4.2: Defeitos em São Carlos em 2003, 2005 e 2007 (220 segmentos). Fonte: Autor.

TRINCA POR FADIGA						PANELAS					
	B	M	A	nº seg	SPD		B	M	A	nº seg	SPD
2003	79	52	29	108	464		17	7	7	29	79
2005	114	102	50	134	655		39	22	2	53	110
2007	82	136	103	152	964		35	21	3	49	119

REMENDOS						DEFORMAÇÃO PERMANENTE					
	B	M	A	nº seg	SPD		B	M	A	nº seg	SPD
2003	156	92	27	173	750		9	1	1	19	39
2005	171	142	39	180	770		31	24	9	41	123
2007	143	162	56	187	1191		4	7	4	11	54

DEFEITO NOS BORDOS						CORRUGAÇÃO					
	B	M	A	nº seg	SPD		B	M	A	nº seg	SPD
2003	9	3	4	29	56		7	2	0	7	13
2005	11	11	1	13	18		1	3	1	3	6
2007	1	9	4	17	36		0	0	0	0	0

TRINCAS LONGITUDINAIS						EXSUDAÇÃO					
	B	M	A	nº seg	SPD		B	M	A	nº seg	SPD
2003	4	7	6	27	48		16	3	0	21	39
2005	18	7	2	20	31		7	3	1	9	17
2007	3	17	9	19	39		1	1	0	2	4

TRINCA EM BLOCO						DESGASTE					
	B	M	A	nº seg	SPD		B	M	A	nº seg	SPD
2003	3	5	1	9	21		182	86	41	216	863
2005	0	0	0	0	0		218	190	104	218	907
2007	0	0	0	0	0		220	187	109	220	912

Na Figura 4.1 é apresentada a evolução dos defeitos trincas por fadiga, panelas e remendos, principais defeitos considerando-se o mecanismo de deterioração dos

pavimentos flexíveis. Com a estratégia de conservação da malha viária adotada pelo município, o resultado é um excesso de remendos, observados em mais de 78% dos segmentos ao longo dos anos. Se fossem realizados recapeamentos e não tapaburacos, o número de segmentos com remendos diminuiria, o que não se verificou.

Figura 4.1: Evolução dos Defeitos em São Carlos/SP (220 segmentos). Fonte: Autor.

Na Figura 4.2 são apresentados os mesmos defeitos da Figura 4.1, mas o parâmetro de análise é a Soma dos Pontos Deduzidos - SPD de cada defeito em cada ano. Verifica-se que os pontos deduzidos crescem ao longo dos anos nos três defeitos.

Apesar do defeito pânelas ter apresentado uma diminuição dos segmentos em que ocorre de 2005 para 2007, conforme Figura 4.1, o SPD aumentou no mesmo período, o que pode ser resultado do aumento da severidade e extensão das pânelas, ainda que presente em menos segmentos. Com base nos dados das Figuras 4.1 e 4.2 pode-se inferir que a condição das vias da amostra se deteriora ano a ano, que as atividades de M&R adotadas pela prefeitura são ineficazes e que, em pouco tempo, toda a malha deve receber um reforço estrutural ou ser reconstruída, com elevado custo para a sociedade.

Figura 4.2: Evolução dos Pontos Deduzidos em São Carlos/SP (220 segmentos). Fonte: Autor.

Com vistas a verificar o quanto rápido os defeitos evoluem na malha viária de São Carlos, da amostra de 220 segmentos, foi extraído um subconjunto de segmentos de pista que em 2003 possuíam nota de ICP Objetivo maior do que 95 e cuja atividade de M&R recomendada pelos avaliadores era nada a fazer – NF, ou seja, eram segmentos que apresentavam condição muito boa.

O subconjunto possuía 70 segmentos, dos quais 62 não possuíam os defeitos trincas por fadiga, 41 não apresentavam painelas e 70 (todo o subconjunto) não tinha remendos. Esses segmentos tiveram seu desempenho acompanhado em função da evolução da quantidade de segmentos em que surgiram defeitos durante as avaliações de 2005 e 2007.

Na Tabela 4.3 pode-se notar que o “número de segmentos de pista com pontos deduzidos do defeito trincas por fadiga igual a zero” (nº seg. PD TF = zero) é 62. Em 2005, dos 62 segmentos que não tinham trincas por fadiga em 2003, 23 passaram a ter, pois o número de segmentos de pista com pontos deduzidos do defeito trincas por fadiga diferente de zero foi 23. Esses 23 segmentos representam uma porcentagem

de surgimento de trincas por fadiga de 37%. Em 2007, dos 62 segmentos que não possuíam trincas por fadiga em 2003, 41 segmentos apresentam o defeito, o que representa 66%. Pode-se inferir que, para esse conjunto de segmentos de pista, a taxa de surgimento de trincas por fadiga, independentemente dos níveis de severidade e extensão, é quase constante e próximo a 33% a cada biênio.

Para o defeito painéis, com a mesma análise do defeito trincas por fadiga, pode-se verificar na Tabela 4.3 que a taxa de surgimento, no conjunto dos 70 segmentos de pista analisados é, também, quase constante, porém, próxima a 6% em cada biênio. A análise dos dados das Tabelas 4.2 e 4.3 permite inferir que a taxa com que surgem as painéis é de aproximadamente 6% ao biênio e que a quantidade de painéis nas vias tende a se estabilizar quando atingem frequência de ocorrência entre 20% e 25% da malha, pois após atingir 53 painéis de 220 segmentos em 2005, recuou para 49 painéis de 220 segmentos em 2007. Sinal de que foram realizadas operações tapa-buracos.

Pode-se presumir que não houve preocupação em eliminar trincas por fadiga antes de se transformarem em painéis e que as painéis não recebem M&R constantemente, mas apenas quando atingem certa porcentagem de ocorrência ou severidade, pois as painéis de severidade alta foram as que mais diminuíram de 2003 para 2005 conforme a Tabela 4.2.

Tabela 4.3: Vias sem defeitos em São Carlos em 2003 (taxa de surgimento). Fonte: Autor.

		2003	2005	2007
Trincas por Fadiga	nº seg. PD TF = zero	62	39	21
	nº seg. PD TF diferente de zero	0	23	41
	% seg PD TF diferente de zero	0	37%	66%
Painéis	nº seg. PD PAN = zero	70	66	62
	nº seg. PD PAN diferente de zero	0	4	8
	% seg PD PAN diferente de zero	0	6%	11%
Remendos	nº seg. PD REM = zero	41	24	26
	nº seg. PD REM diferente de zero	0	17	15
	% seg PD REM diferente de zero	0	41%	37%

Na Figura 4.3 podem ser observados os mesmos dados da Tabela 4.3 em forma gráfica. Apesar de esperado o aumento da quantidade de remendos ao longo do tempo, ocorreu o oposto, eles diminuíram entre 2005 e 2007.

O defeito remendos apresentou um crescimento de ocorrência de 2003 para 2005 de 41% (17 segmentos com remendos em 2005 de 41 segmentos sem remendos em 2003), porém, em 2007 a quantidade de remendos diminuiu para 37% (15 de 41). Duas possíveis explicações são que algum segmento de pista recebeu recapeamento ou algum remendo não foi identificado pelo avaliador em 2007, talvez por um veículo estacionado sobre o remendo.

Figura 4.3: Taxa de evolução dos defeitos nas vias em São Carlos/SP. Fonte: Autor.

4.3 Considerações sobre procedimentos para avaliação da condição das vias pavimentadas em áreas urbanas

Conforme apresentado no Capítulo 3, planilhas de avaliação com menos defeitos tendem a ter resultados mais consistentes do que planilhas com muitos defeitos, pois muitas opções a serem consideradas durante a avaliação de campo confundem os avaliadores.

Como as avaliações de 2005 foram com a planilha IA/SHRP, foi necessário convertê-las no padrão 5 defeitos, conforme as etapas a seguir.

Primeira etapa: os dados das avaliações de 2005 foram organizados em planilha eletrônica, conforme Figura 4.4. A planilha contém os 10 defeitos (IA/SHRP). A coluna da esquerda, "ID", é o código único de identificação de cada segmento de pista avaliado. Foram avaliados 220 segmentos de pista em 2005.

Os níveis de severidade são identificados logo abaixo do nome de cada defeito. Severidade Baixa = "B", severidade Média = "M" e severidade Alta = "A". Cada linha referente ao mesmo ID deve ser preenchida com a porcentagem (estimada) da área total do segmento em que tal defeito foi encontrado.

Quando a célula da planilha de alguma severidade de algum defeito está vazia significa que aquela combinação de defeito e severidade não foi encontrada pelo avaliador. Além das severidades e área de ocorrência dos defeitos são inseridos na planilha os Pontos Deduzidos "PD" de cada defeito. Por último são inseridos os valores do ICP Objetivo e ICP Subjetivo.

Segunda etapa: converter as áreas que estão em porcentagem da área total do segmento da planilha de IA/SHRP em conceitos, B, M ou A da planilha de 5 defeitos. Para isso foi definido qual o limite de porcentagem da área total do segmento da planilha de 10 defeitos corresponde a cada conceito B, M ou A de extensão da planilha de 5 defeitos.

Em planilha eletrônica foi inserida fórmula condicional conforme Figura 4.5. A extensão Baixa "B" é entre 0 e 10% da área total do segmento. A extensão Média "M" é entre 11 e 40% e a extensão Alta "A" é para defeitos com área superior a 40% da área total do segmento. Cada conceito de área da planilha de 5 defeitos é relativo para cada uma das 3 severidades possíveis.

Alinhamento										Número										Estilo										Células									
=SE('PLANILHA 5 DEFEITOS'!B4="";"";SE('PLANILHA 5 DEFEITOS'!B4>40;"A";SE('PLANILHA 5 DEFEITOS'!B4>=11;"M";SE('PLANILHA 5 DEFEITOS'!B4>0;"B"))))																																							
K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ							
PANELAS					REMENDOS					DESGASTE					FORMAÇÃO PERMANEN																								
A	B	M	A	PD	B	M	A	B	M	A	PD	B	M	A	B	M	A	PD	B	M	A	B	M	A	PD	B	M	A	B	M	A	PD							
0	0	0	0	0	B	B		1	5	0	6	M	M	B	5	11	11	20									0	0	0	0									
0	0	0	0	0	B			1	0	0	1	M	M		5	11	0	16									0	0	0	0									
0	5	0	5	5	B	B		1	5	0	6	M	M		5	11	0	16									0	0	0	0									
0	0	0	0	0	B	B		1	5	0	6	M	M		5	11	0	16									0	0	0	0									
0	0	0	0	0	B			1	0	0	1	B	M		1	11	0	12									0	0	0	0									
0	0	0	0	0	B			1	0	0	1	B	B		1	5	0	6	B								1	0	0	1									
0	0	0	0	0	B	B		1	5	0	6	M	M	B	5	11	11	20									0	0	0	0									
0	0	0	0	0	B			0	5	0	5	M	B		5	5	0	10	B								0	5	0	5									
0	0	0	0	0	B	B		1	5	0	6	M	B		5	5	0	10									0	0	0	0									
0	0	0	0	0	B			0	0	0	0	B			1	0	0	1																					

PONTOS DEDUZIDOS				
SEVERIDADE				
EXTENSÃO	B	1	5	11
	M	5	11	15
	A	11	15	20

Figura 4.5: Conversão de planilhas IA/SHRP em planilha 5 defeitos. Fonte: Autor.

Alinhamento										Número										Estilo														
=SE(P4="B";1;SE(P4="M";5;SE(P4="A";11;SE(P4="";0))))																																		
J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	
PANELAS					REMENDOS					DESGASTE					FORMAÇÃO PERMANEN																			
M	A	B	M	A	PD	B	M	A	B	M	A	PD	B	M	A	B	M	A	PD	B	M	A	B	M	A	PD	B	M	A	PD				
		0	0	0	0	B	B		1	5	0	6	M	M	B	5	11	11	20								0	0	0	0				
		0	0	0	0	B			1	0	0	1	M	M		5	11	0	16								0	0	0	0				
B		0	5	0	5	B	B		1	5	0	6	M	M		5	11	0	16								0	0	0	0				
		0	0	0	0	B	B		1	5	0	6	M	M		5	11	0	16								0	0	0	0				
		0	0	0	0	B			1	0	0	1	B	M		1	11	0	12								0	0	0	0				
		0	0	0	0	B			1	0	0	1	B	B		1	5	0	6	B							1	0	0	1				
		0	0	0	0	B	B		1	5	0	6	M	M	B	5	11	11	20								0	0	0	0				
		0	0	0	0	B			0	5	0	5	M	B		5	5	0	10	B							0	5	0	5				
		0	0	0	0	B	B		1	5	0	6	M	B		5	5	0	10								0	0	0	0				
																									PONTOS DEDUZIDOS									
																									SEVERIDADE									
																									EXTENSÃO									

Figura 4.6: Compatibilização de áreas de ocorrência de defeitos e pontos deduzidos da planilha IA/SHRP e 5 defeitos. Fonte: Autor.

Terceira etapa: Calcular os pontos deduzidos de cada defeito de cada segmento. Na Figura 4.7 está a fórmula condicional da planilha eletrônica em que fica limitado a 20 pontos o valor máximo de pontos deduzidos de cada defeito. Caso a soma do PD de B, M e A superem 20 pontos, então a planilha retorna o valor de 20 pontos.

Caso a soma seja igual ou inferior a 20 pontos, então a planilha retorna o valor da soma. Assim, os pontos deduzidos de cada um dos 5 defeitos é igual, no máximo, a 20 pontos e cada segmento de pista tem PD máximo igual a 100 pontos.

Fonte		Alinhamento		Número		Estilo																																	
fx		=SE(SOMA(S4+T4+U4)>20;20;SOMA(S4+T4+U4))																																					
I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP						
PANELAS				REMENDOS				DESGASTE				FORMAÇÃO PERMANEN																											
B	M	A	B	M	A	PD	B	M	A	B	M	A	PD	B	M	A	B	M	A	PD	B	M	A	B	M	A	PD												
			0	0	0	0	B	B	1	5	0	0	=SE	M	B	5	11	11	20				0	0	0	0													
			0	0	0	0	B	B	1	0	0	1	M	M	5	11	0	16				0	0	0	0														
B			0	5	0	5	B	B	1	5	0	6	M	M	5	11	0	16				0	0	0	0														
			0	0	0	0	B	B	1	5	0	6	M	M	5	11	0	16				0	0	0	0														
			0	0	0	0	B		1	0	0	1	B	M	1	11	0	12				0	0	0	0														
			0	0	0	0	B		1	0	0	1	B	B	1	5	0	6	B			1	0	0	1														
			0	0	0	0	B	B	1	5	0	6	M	M	B	5	11	11	20				0	0	0	0													
			0	0	0	0	B		0	5	0	5	M	B		5	5	0	10	B			0	5	0	5													
			0	0	0	0	B	B	1	5	0	6	M	B		5	5	0	10				0	0	0	0													

Figura 4.7: Cálculo dos pontos deduzidos de cada defeito na planilha de 5 defeitos. Fonte: Autor.

Quarta etapa: Calcula-se o ICP Objetivo para os 5 defeitos. A solução para cálculo do ICP é apresentada na Figura 4.8. Basta somar os pontos deduzidos de cada um dos 5 defeitos e descontar de 100.

Fonte		Alinhamento		Número		Estilo																										
fx		=E4+K4+Q4+W4+AC4																														
C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG		
PINCAS POR FADIGA				PANELAS				REMENDOS				DESGASTE				DEFORM. PERMAN.				RESUMO DA												
B	M	A	PD	AREA	M&R	B	M	A	PD	AREA	M&R	B	M	A	PD	AREA	M&R	B	M	A	PD	AREA	M&R	B	M	A	PD	AREA	M&R	PD	ICP	OBJ
0	0	NF				0	0	NF				B	B	6	160	MP		M	M	B	20	400	MC		0	0	NF			C4	74	
0	0	NF				0	0	NF				B		1	80	NF		M	M		16	320	MC		0	0	NF			17	83	
1	0	NF				0	5	80	MP			B	B	6	160	NF		M	M		16	320	MC		0	0	NF			28	72	
1	0	NF				0	0	NF				B	B	6	160	NF		M	M		16	320	MC		0	0	NF			23	77	
1	0	NF				0	0	NF				B		1	80	NF		B	M		12	280	MC		0	0	NF			14	86	

Figura 4.8: Cálculo do ICP de cada segmento na planilha de 5 defeitos. Fonte: Autor.

Quinta etapa: Calcular a área de intervenção de cada segmento. Para isso basta somar a área de cada defeito, conforme a Figura 4.9 ilustra, porém, há uma particularidade para o defeito desgaste.

Como já explicado, foi considerado que quando em severidade baixa e média, esse defeito pouco interfere na serventia das vias urbanas. Por isso na fórmula da planilha eletrônica pode-se observar que a área do defeito desgaste é dividida por 5. O valor foi arbitrado e pode ser ajustado. Esta foi uma consideração para não atribuir como

área de M&R as áreas de desgaste com severidade baixa e média, mas apenas as áreas com severidade alta. Esse critério foi adotado nessa tese, mas pode ser alterado a qualquer tempo conforme calibração do modelo.

Fonte

Alinhamento

Número

Estilo

X

✓

f

=F4+L4+R4+AD4+SE(V4<>0;X4/5;0)

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

W

X

Y

Z

AA

AB

AC

AD

AE

AF

AG

AH

AI

CAS POR FADIGA			PANELAS			REMENDOS			DESGASTE			DEFORM. PERMAN.			RESUMO DA SEÇÃO									
A	PD	AREA M&R	B	M	A	PD	AREA	M&R	B	M	A	PD	AREA	M&R	B	M	A	PD	ICP	OBJ	ÁREA	M&R		
0	0	NF	0	0	NF	B	B	6	160	MP	M	M	B	20	400	MC	0	0	NF	26	74	=F4+L4	MC	
0	0	NF	0	0	NF	B	B	1	80	NF	M	M	B	16	320	MC	0	0	NF	17	83		MC	
1	0	NF	B	5	80	MP	B	B	6	160	NF	M	M	B	16	320	MC	0	0	NF	28	72		MC
1	0	NF	0	0	NF	B	B	6	160	NF	M	M	B	16	320	MC	0	0	NF	23	77		MC	
1	0	NF	0	0	NF	B	B	1	80	NF	B	M	B	12	280	MC	0	0	NF	14	86		MC	
0	0	NF	0	0	NF	B	B	1	80	NF	B	B	B	6	160	MP	B	1	80	NF	8	92		MP
1	0	NF	0	0	NF	B	B	6	160	NF	M	M	B	20	400	MC	0	0	NF	27	73		MC	
0	0	NF	0	0	NF	B	B	5	80	NF	M	B	B	10	280	MP	B	5	80	MP	20	80		MP
0	0	NF	0	0	NF	B	B	6	160	NF	M	B	B	10	280	MP	0	0	NF	16	84		MP	

Figura 4.9: Cálculo do ICP de cada segmento na planilha de 5 defeitos. Fonte: Autor.

Para a definição da M&R mais adequada para cada segmento de pista foi elaborado teste lógico na planilha eletrônica “=SE(OU(G4="RC";M4="RC";S4="RC"; Y4="RC"; AE4="RC");"RC";SE(OU(G4="RF";M4="RF";S4="RF";Y4="RF";AE4="RF");"RF";SE(OU(G4="MC";M4="MC";S4="MC";Y4="MC";AE4="MC");"MC";SE(OU(G4="MP";M4="MP";S4="MP";Y4="MP";AE4="MP");"MP";"NF"))))” conforme Figura 4.10.

As opções de M&R são as da Tabela 3.1 e são definidas com base nas M&R de cada defeito do mesmo segmento de pista. Cada célula M&R possui uma cor.

O objetivo foi facilitar em uma rápida visualização se a condição da malha viária está mais para azul – NF ou mais para vermelho – RF.

Com a planilha dos 5 defeitos elaborada com base nos dados de 2005, seus resultados são comparados, em função do ICP, com os ICP Objetivo e Subjetivo da planilha IA/SHRP.

Na Figura 4.11 são apresentados os valores de ICP Objetivo e Subjetivo obtidos pela avaliação IA/SHRP e pela planilha de 5 defeitos.

Pode-se notar que os valores de ICP Objetivo e Subjetivo IA/SHRP têm menor amplitude do que as notas de ICP com 5 defeitos.

Nessa situação, o ICP com 5 defeitos identifica melhor as diferenças de condição das vias e se mostra mais adequado para hierarquizar os segmentos candidatos a receberem atividades de M&R.

Devido ao seu tamanho, a Figura 4.11 está dividida em duas partes. A primeira parte apresenta 110 segmentos e a segunda os demais. São analisados os 220 segmentos de 2005.

Formula: `=SE(OU(G4="RC";M4="RC";S4="RC";Y4="RC";AE4="RC");"RC";SE(OU(G4="RF";M4="RF";S4="RF";Y4="RF";AE4="RF");"RF";SE(OU(G4="MC";M4="MC";S4="MC";Y4="MC";AE4="MC");"MC";SE(OU(G4="NF";M4="NF";S4="NF";Y4="NF";AE4="NF");"NF";"NF"))`

FOR FADIGA	PANELAS	RECONDOS	DESGASTE	DEFORM. PERMAN.	RESUMO DA SEÇÃO
AREA M&R	B M A PD AREA M&R	B M A PD AREA M&R	B M A PD AREA M&R	B M A PD AREA M&R	PD ICP OBJ. ÁREA M&R
0 NF	0 0 NF	B B 6 160 MP	M M B 20 400 MC	0 0 NF	26 74 240 =SE(O
0 NF	0 0 NF	B 1 80 NF	M M 16 320 MC	0 0 NF	17 83 144 MC
0 NF	B 5 80 MP	B B 6 160 NF	M M 16 320 MC	0 0 NF	28 72 304 MC
0 NF	0 0 NF	B B 6 160 NF	M M 16 320 MC	0 0 NF	23 77 224 MC
0 NF	0 0 NF	B 1 80 NF	B M 12 280 MC	0 0 NF	14 86 136 MC
0 NF	0 0 NF	B 1 80 NF	B B 6 160 MP	B 1 80 NF	8 92 192 MP
0 NF	0 0 NF	B B 6 160 NF	M M B 20 400 MC	0 0 NF	27 73 240 MC
0 NF	0 0 NF	B 5 80 NF	M B 10 280 MP	B 5 80 MP	20 80 216 MP
0 NF	0 0 NF	B B 6 160 NF	M B 10 280 MP	0 0 NF	16 84 216 MP
0 NF	0 0 NF	0 0 NF	B 1 80 NF	B 1 80 NF	2 98 96 NF
400 RF	0 0 NF	B B B 17 320 MC	M M B 20 400 RF	0 0 NF	57 43 800 RF
0 MP	B B 6 160 MP	B B 6 160 NF	M B B 20 400 MC	0 0 NF	38 62 400 MC
0 MP	0 0 NF	B B 6 160 NF	M M B 20 400 RF	0 0 NF	32 68 240 RF
320 MC	0 0 NF	B B B 17 320 MC	M M B 20 400 RF	0 0 NF	54 46 720 RF
0 MP	B 5 80 MP	B B B 17 320 MC	M M 16 320 MC	0 0 NF	44 56 464 MC
0 MP	0 0 NF	B B 6 160 NF	M B B 20 400 MC	0 0 NF	31 69 240 MC
0 MP	0 0 NF	B B 6 160 NF	M 5 280 MP	0 0 NF	17 83 216 MP
320 MC	0 0 NF	M B B 20 400 MC	M M B 20 400 RF	0 0 NF	57 43 800 RF
0 NF	0 0 NF	0 0 NF	M B B 20 400 MC	0 0 NF	21 79 80 MC
0 MP	0 0 NF	M B 10 280 NF	M B B 20 400 MC	0 0 NF	35 65 360 MC
0 NF	0 0 NF	B 5 80 NF	M B 10 280 MP	0 0 NF	16 84 136 MP
0 MC	B B 6 160 MP	0 0 NF	M B B 20 400 MC	0 0 NF	42 58 240 MC

Figura 4.10: Definição da M&R de cada segmento na planilha de 5 defeitos. Fonte: Autor.

Figura 4.11: ICP Objetivo com 5 defeitos e ICP Subjetivo e ICP Objetivo (ambos IA/SHRP) com dados das avaliações realizadas em 2005 – 220 segmentos de pista. Fonte: Autor.

A Tabela 4.4 mostra a correlação entre os ICP subjetivo (IA/SHRP), ICP objetivo (IA/SHRP) e ICP 5 defeitos (objetivo). Os valores de correlação foram altos, sendo o maior valor igual a 0.894, entre o ICP Objetivo IA/SHRP e o ICP 5 defeitos. O menor valor está entre o ICP IA/SHRP Subjetivo e o ICP 5 defeitos. São analisados os 220 segmentos da avaliação de 2005. Os Índices objetivos apresentam melhor correlação entre si do que com o ICP Subjetivo, que possui menos amplitude na variação dos valores.

Tabela 4.4: Correlação entre os ICP Subjetivo e Objetivo (IA/SHRP) e ICP 5 defeitos. Fonte: Autor.

CORRELAÇÃO	IA/SHRP Obj	IA/SHRP Sub	5 Defeitos
IA/SHRP Obj	1,000	0,891	0,894
IA/SHRP Sub	0,891	1,000	0,815
5 Defeitos	0,894	0,815	1,000

Além da análise com os ICPs IA/SHRP e 5 defeitos, também foi realizado estudo comparativo com os mesmos três ICPs e o PCI. O PCI foi obtido a partir das avaliações IA/SHRP de 2005. Foi utilizada uma amostra de 20 segmentos, sendo que 5 segmentos possuem nota de ICP Objetivo IA/SHRP menor do que 70, 5 segmentos possuem nota ICP entre 70 e 80, 5 segmentos com nota entre 80 e 90 e 5 segmentos com ICP maior que 90.

Os procedimentos da metodologia PCI, além de fornecerem critérios para avaliação dos defeitos da superfície, também definem um indicador de qualidade da via. Este indicador, o PCI, foi desenvolvido para avaliar rodovias, estacionamentos e vias urbanas. Dos três manuais de identificação de defeitos internacionais mais conhecidos (SHRP, AASHTO e PCI), o PCI é o único que também fornece um índice de condição do pavimento. Por ser utilizado em diversas regiões do mundo, optou-se, nessa tese, por compará-lo, também, aos ICPs já apresentados.

Para calcular o valor do PCI foram utilizadas as curvas de dedução de pontos conforme o proposto por Shahim (1979) e ASTM D 6433 – 16, explicado na seção 2.8. A seguir, nas Tabelas 4.5 e 4.6, são apresentados dois exemplos dos procedimentos para cálculo do indicador PCI a partir dos dados das avaliações IA/SHRP de 2005 em São Carlos. As quatro primeiras colunas contêm dados das avaliações IA/SHRP. Nas próximas colunas seguiu-se o protocolo do PCI.

Na Tabela 4.5, por exemplo, o valor do PCI é 17. São diversos defeitos nos pavimentos, como trincas, panelas, remendos, deformação permanente e corrugação. Já na Tabela 4.6, o PCI é 85, e os defeitos são apenas remendos e desgaste, evidenciando a coerência do método. Mais detalhes do cálculo do PCI para os outros segmentos no Apêndice 1.

Tabela 4.5: Cálculo do PCI para o segmento ID 453. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
453	trincas por fadiga	B	10	32	497	7	83	17
		M	10	46				
		A	5	53				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	10	62				
	remendos	B	10	16				
		M	10	31				
		A	5	36				
	panelas	B	2	70				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	5	20				
		M	10	44				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	5	32				
		A	0	0				
	exsudação	B	5	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	20	8				
		M	10	18				
		A	5	29				

Tabela 4.6: Cálculo do PCI para o segmento ID 3438. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
3438	trincas por fadiga	B	0	0	20	2	15	85
		M	0	0				
		A	0	0				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	1	2				
		M	0	0				
		A	0	0				
	panelas	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	20	8				
		M	2	10				
		A	0	0				

Com base nas notas de ICP Objetivo e Subjetivo padrão IA/SHRP e no padrão 5 Defeitos, fez-se estudo comparativo com a amostra de 20 segmentos cujo ICP foi calculado segundo metodologia do PCI. Na Tabela 4.7 são listados os segmentos que tiveram o valor do ICP calculado conforme metodologia do PCI. São segmentos divididos em quatro intervalos de acordo com o ICP Objetivo IA/SHRP. Pode-se observar que o PCI apresenta valores inferiores aos demais indicadores. O ICP Objetivo IA/SHRP possui os valores mais elevados, provavelmente por ter muitos defeitos avaliáveis na planilha que raramente são encontrados nas vias. O ICP 5 Defeitos apresenta adequada diferenciação entre os segmentos, independentemente dos valores do ICP, ao contrário do PCI que pouco diferencia segmentos cujos valores são baixos.

Tabela 4.7: comparação dos indicadores de condição dos pavimentos. Fonte: Autor.

ICP OBJETIVO MENOR QUE 70 - AVALIAÇÕES 2005					
ID	RUA/AV	ICP OBJETIVO	ICP SUBJETIVO	ICP 5 DEFEITOS	PCI
453	TANCREDO NEVES	60	70	38	17
1270	HENRIQUE GREGORI	63	60	43	17
3342	SÃO CARLOS	64	70	45	17
1007	HENRIQUE GREGORI	68	65	32	17
710	D. ALEXANDRINA	69	80	22	15

ICP OBJETIVO MENOR QUE 80 E MAIOR OU IGUAL A 70 - AVALIAÇÕES 2005					
ID	RUA/AV	ICP OBJETIVO	ICP SUBJETIVO	ICP 5 DEFEITOS	PCI
749	RUI BARBOSA	70	70	35	18
986	HENRIQUE GREGORI	70	65	30	18
985	HENRIQUE GREGORI	71	60	40	17
1268	HENRIQUE GREGORI	73	60	45	17
713	D. ALEXANDRINA	79	80	35	19

ICP OBJETIVO MENOR QUE 90 E MAIOR OU IGUAL A 80 - AVALIAÇÕES 2005					
ID	RUA/AV	ICP OBJETIVO	ICP SUBJETIVO	ICP 5 DEFEITOS	PCI
733	SÃO JOAQUIM	81	80	57	21
735	SÃO JOAQUIM	81	80	68	30
3239	VICENTE DE CARVALHO	81	72	56	18
6001	RUI BARBOSA	84	60	59	4
3440	SÃO CARLOS	87	90	87	37

ICP OBJETIVO MAIOR OU IGUAL A 90 - AVALIAÇÕES 2005					
ID	RUA/AV	ICP OBJETIVO	ICP SUBJETIVO	ICP 5 DEFEITOS	PCI
169	DOM PEDRO II	90	85	72	55
163	SÃO JOAQUIM	92	85	67	50
5974	SÃO CARLOS	94	95	88	78
165	SÃO JOAQUIM	96	95	83	77
3438	SÃO CARLOS	97	95	89	85

A Figura 4.12 mostra um gráfico comparando quatro índices: as notas de ICP Objetivo e Subjetivo obtidos com a planilha IA/SHRP, o ICP Objetivo obtido com 5 defeitos e o ICP calculado pelo método PCI. Nota-se que o método PCI apresenta os valores mais baixos e diferencia pouco os segmentos com valor de ICP abaixo de 20, o que é ruim para hierarquizar os segmentos candidatos a receberem alguma atividade de M&R. Isso se deve ao fato de que quando o valor de “q” é superior a 7 e o TDV é superior a 200, o valor de pontos a ser deduzido é o mesmo e o ICP também é o mesmo. Uma possível explicação é que o método PCI foi desenvolvido para manter pavimentos em condições melhores do que as encontradas nas ruas de São Carlos.

Quando analisada a Figura 4.12, nota-se que os valores são quase linearmente crescentes para o ICP Objetivo e IA/SHRP. O ICP Subjetivo IA/SHRP e o ICP 5 defeitos variam bastante entre notas maiores e menores, com maior amplitude. Para o método PCI há pouca diferença de nota de ICP para valores inferiores a 20 pontos. Os valores do PCI a partir do segmento 12 seguem a tendência dos demais indicadores.

Figura 4.12 Comparação de valores de ICP objetivo e subjetivo. Fonte: Autor.

Na Tabela 4.8 são destacados os valores de correlação entre os indicadores de condição do pavimento. Nota-se que o maior valor é encontrado entre a avaliação

objetiva com a planilha IA/SHRP e a metodologia proposta de avaliação com 5 defeitos. Já a menor correlação está entre a avaliação subjetiva IA/SHRP e a proposta de 5 defeitos.

O desvio padrão das avaliações com padrão 5 Defeitos apresentam valor próximo ao do PCI e quase o dobro em relação aos ICP Objetivo e ICP Subjetivo IA/SHRP. Isso confirma a maior amplitude e melhor diferenciação entre segmentos de pista proporcionado pelo procedimento com 5 defeitos.

Tabela 4.8 Correlação entre ICP Objetivo e Subjetivo e método de cálculo. Fonte: Autor.

correlação	IA/SHRP Objetivo (1)	IA/SHRP Subjetivo (2)	5 defeitos (3)	PCI (4)
1	1.000	0.781	0.869	0.804
2	0.781	1.000	0.742	0.847
3	0.869	0.742	1.000	0.811
4	0.804	0.847	0.811	1.000
desvio padrão	11.58	12.34	21.24	24.19

Como principal resultado desta seção, destaca-se que o procedimento de avaliação dos defeitos da superfície dos pavimentos com base na avaliação 5 Defeitos pode ser o mais adequado, seja pela melhor diferenciação entre segmentos de pista em condição ruim, regular e boa, seja por conseguir manter o nível de diferenciação em todos os intervalos de ICP, desde o menor até o maior. A avaliação com 5 defeitos pode, ainda, ser mais rápida por ter menos campos a serem preenchidos e com potencial de melhor repetitividade e reprodutibilidade, considerando que há menos subjetividade.

4.4 Proposta de um modelo de previsão de desempenho para pavimentos urbanos com base nos dados de São Carlos

Para a elaboração do modelo de previsão de desempenho dos pavimentos urbanos com base nos dados disponíveis há duas possibilidades. Na primeira, os dados são organizados de acordo com a avaliação objetiva.

Na segunda, os dados são organizados pela avaliação subjetiva.

Nesta tese foram realizadas as duas opções e comparados seus resultados. Foram utilizadas as avaliações padrão IA/SHRP, pois são as únicas com ICP Objetivo e ICP Subjetivo para serem comparados, e ainda, foi o critério de avaliação adotado nas avaliações realizadas em São Carlos à época.

4.4.1 Elaboração de modelo de previsão de desempenho com dados da amostra de 220 segmentos e com as avaliações de 2003 e 2005. Dados de 2003 organizados pelo ICP Objetivo.

Para a definição do quão rápido a serventia diminui, ou seja, para determinar o desempenho das vias, foi utilizada a média de variação do ICP nos anos de 2003 e 2005. Os valores de ICP Objetivo e Subjetivo tiveram suas médias aritméticas calculadas em planilha eletrônica para cada ano em que houve avaliações de campo (2003, 2005 e 2007).

Na primeira tentativa, quando não houve tratamento algum nos dados das avaliações notou-se que os resultados não eram satisfatórios. Buscou-se uma divisão dos segmentos que permitisse a quantificação da diminuição da serventia. Para isso, os segmentos de pista foram divididos em dois grupos. Um grupo com valores de ICP Objetivo maiores ou igual a 85 e outro grupo com valores de ICP Objetivo inferiores a 85. Para a elaboração do modelo de previsão do desempenho dos pavimentos urbanos foram utilizados os dados das avaliações realizadas em 2003 e 2005 no município de São Carlos, com padrão de avaliação IA/SHRP.

Foram utilizados os 220 segmentos de pista da amostra avaliada nos dois ciclos de avaliação. Do total de segmentos da amostra de 2003, 165 segmentos possuem ICP Objetivo maior ou igual a 85 e 55 segmentos possuem ICP Objetivo menor que 85. Uma vez estabelecidos os dois grupos de segmentos de pista com base no ICP Objetivo, o ICP Subjetivo correspondente a cada segmento de pista foi mantido no mesmo grupo, independentemente seu valor.

Pode-se observar na Tabela 4.9 que quando organizados a partir do ICP Objetivo, os segmentos com ICP maior ou igual a 85 possuem valor médio de ICP, no ano de 2003, igual a 93,0 e valor médio igual a 90,0 em 2005. A diferença é de 3,0 pontos em dois anos. Pode-se verificar, também, que o valor médio de ICP Subjetivo varia 1,4 pontos em dois anos. Para os valores de ICP menores que 85, pode-se observar que o valor médio de ICP Objetivo e Subjetivo aumentou de 2003 para 2005. Conforme os resultados indicam, não é possível elaborar modelo de previsão de desempenho com base no valor médio do ICP para os segmentos de pista com média inferior a 85.

Esse resultado é bastante compatível com as constatações anteriores em que as operações tapa-buracos ocorrem com o pavimento já bastante deteriorado e, portanto, oscilam o valor do ICP ano a ano em função de receber ou não remendos no ano da avaliação da condição da superfície.

Tabela 4.9: Valores médios de ICP para modelo de desempenho, organizados pelo ICP Objetivo. Fonte: Autor.

ICP MAIOR OU IGUAL 85		
	OBJ	SUB
2003	93,0	89,0
2005	90,0	87,6
ICP MENOR 85		
	OBJ	SUB
2003	77,9	75,5
2005	81,2	78,6

Nesta seção fica estabelecido que o desempenho dos pavimentos urbanos organizados a partir dos segmentos com ICP Objetivo superior ou igual a 85 tem o valor médio do ICP Objetivo diminuído em 3 pontos a cada biênio e que o ICP Subjetivo diminui em média 1,4 pontos a cada biênio. Quanto aos segmentos de pista com valor de ICP Objetivo inferior a 85, não foi possível estabelecer seu desempenho, pois seus valores de ICP aumentaram entre os anos de 2003 e 2005, provavelmente como resultado de operações tapa-buracos.

4.4.2 Elaboração de modelo de previsão de desempenho com dados da amostra de 220 segmentos e com as avaliações de 2003 e 2005. Dados de 2003 organizados pelo ICP Subjetivo.

Nesta seção são aplicados os mesmos critérios da seção anterior, porém, com os segmentos de pista organizados com base no ICP Subjetivo. Foram utilizados os 220 segmentos de pista da amostra e analisados os valores de ICP. Dos 220 segmentos, 150 possuem ICP Subjetivo maior ou igual a 85 e 70 segmentos possuem ICP Subjetivo menor do que 85. Analogamente à seção anterior, os valores de ICP Objetivo de cada segmento não respeita, obrigatoriamente, a mesma divisão dos grupos de ICP Subjetivo.

Com base nos dados da Tabela 4.10 pode-se verificar que para o grupo de segmentos cujo ICP Subjetivo é maior ou igual a 85, o valor da média de ICP Objetivo diminui 3 pontos a cada biênio e a média do ICP Subjetivo diminui 2 pontos a cada biênio. Em comparação com os dados organizados pelo ICP Objetivo, houve a mesma média de diminuição de 2003 para 2005, porém, com diminuição da média em 2 pontos para o ICP Subjetivo.

Tabela 4.10: Valores médios de ICP para modelo de desempenho – organizados pelo ICP Subjetivo. Fonte: Autor.

ICP MAIOR OU IGUAL 85		
	OBJ	SUB
2003	93,5	90,0
2005	90,5	88,0
ICP MENOR 85		
	OBJ	SUB
2003	80,2	76,3
2005	82,2	79,5

Para o grupo de segmentos de pista com valor de ICP Subjetivo menor do que 85, houve aumento do valor médio do ICP Objetivo e do ICP Subjetivo, assim como ocorreu no grupo organizado com base nos valores de ICP Objetivo. Portanto, não é possível obter um modelo de previsão de desempenho com base em valores de ICP para esse grupo de segmentos.

4.4.3 Validação do modelo de previsão de desempenho de pavimentos. Dados das avaliações de 2005 organizados pelo ICP Objetivo

A fim de validar o modelo de previsão de desempenho com base na nota de ICP Objetivo e ICP Subjetivo, foram analisadas as duas condições de elaboração do modelo. Uma com base em dados organizados pelo ICP Objetivo – seção 4.4.1 e outra com base em dados organizados pelo ICP Subjetivo – seção 4.4.2.

Nesta seção são apresentados os critérios e os resultados de validação para o modelo de previsão de desempenho de pavimentos urbanos elaborados com base em dados organizados pelo ICP Objetivo. Foram utilizados 220 segmentos. Os dados analisados são das avaliações de 2005 e 2007.

Para os testes de validação do modelo, os segmentos de pista avaliados em 2005 foram organizados, em função do ICP Objetivo, em dois grupos, de modo similar ao critério utilizado para definir o modelo.

O grupo de segmentos com ICP Objetivo superior ou igual a 85 teve 157 segmentos. Considerando-se que em 2003 havia 165 segmentos nessa condição, pode-se inferir que houve diminuição da serventia no período. O grupo de segmentos com ICP Objetivo, em 2005, inferior a 85, teve 63 segmentos.

A análise para validação do modelo foi por meio de testes estatísticos. A partir dos valores de ICP Objetivo e de ICP Subjetivo de 2005, aplicou-se o modelo, conforme definido na sua elaboração. Cada segmento de pista teve seu ICP Objetivo diminuído em 3 pontos. Cada segmento de pista teve seu ICP Subjetivo diminuído em 1,5 pontos. Em ambos os casos o período de análise foi de dois anos. Os valores de ICP resultantes da aplicação do modelo foram comparados com dados reais de 2007.

A análise para validação do modelo foi a partir dos dados das avaliações de 2007. Um grupo de dados tem origem na previsão do modelo e o outro grupo tem origem em dados reais de avaliação de campo. Foram aplicados dois testes estatísticos. Um deles, o teste t de *Student* analisa médias globais.

O outro teste foi a correlação, que analisa os par a par. Esses critérios para validação do modelo foram definidos no Capítulo 3, conforme estudos para validação de modelo de previsão de desempenho estrutural para vias sob administração do Departamento de Transportes do Texas (TxDOT).

Para o teste de hipótese de acordo com o teste t de *Student* foi definida como hipótese H_0 que as médias globais são iguais e que a diferença entre elas é igual a zero.

O teste t foi realizado com uma confiança de 95%. Os resultados são apresentados na Tabela 4.11.

Para o ICP Objetivo o valor da estatística t foi de -1,56. O valor tabelado é de 1,97. Portanto, o modelo foi validado no teste t de *Student*. Para medir a força do modelo foi verificada a correlação, cujo valor foi de 0,60, considerado bom.

Tabela 4.11: Teste t de Student para modelo de previsão de desempenho para ICP Objetivo. Dados organizados pelo ICP Objetivo. Fonte: Autor.

REAL vs MODELO ICP OBJ		
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes		
	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	88,01	89,03
Variância	51,07	16,39
Observações	157	157
Variância agrupada	33,73	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	312	
Stat t	-1,56	
P(T<=t) uni-caudal	0,06	
t crítico uni-caudal	1,65	
P(T<=t) bi-caudal	0,12	
t crítico bi-caudal	1,97	

Para o ICP Subjetivo o valor da estatística t foi de -0,55. O valor máximo tabelado é 1,97. Portanto, o modelo está validado pelo teste t de *Student* com confiança de 95%. Os detalhes são apresentados na Tabela 4.12. A correlação para o ICP Subjetivo entre a série prevista e a série real foi de 0,48, valor moderado.

Tabela 4.12: Teste t de Student para modelo de previsão de desempenho para ICP Subjetivo. Dados organizados pelo ICP Objetivo. Fonte: Autor.

REAL vs MODELO ICP SUB		
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes		
	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	87,18	87,56
Variância	49,94	26,74
Observações	157	157
Variância agrupada	38,34	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	312	
Stat t	-0,55	
P(T<=t) uni-caudal	0,29	
t crítico uni-caudal	1,65	
P(T<=t) bi-caudal	0,58	
t crítico bi-caudal	1,97	

Para ilustrar a correlação dos valores de ICP Objetivo e ICP Subjetivo reais e previstos pelo modelo para o ano de 2007, são apresentados dois gráficos, a Figura 4.13 e a Figura 4.14.

Pode-se verificar que os dados de ICP Objetivo são mais próximos da linha de correlação ideal em relação aos dados de ICP Subjetivo, o que é coerente com os valores de correlação encontrados.

Os pontos mais distantes do eixo de correlação ideal aparecem tanto quando o ICP Objetivo real é maior quanto quando o ICP Objetivo real é menor do que o ICP Objetivo previsto pelo modelo.

Pode-se inferir que em alguns casos a taxa de diminuição de desempenho é acentuada, hora superior, hora inferior, ao observado nas vias, com diferença de 15 a 20 pontos.

Na maior parte dos segmentos as diferenças entre o ICP Objetivo real e o ICP Objetivo previsto é inferior a 10 pontos. O mesmo fenômeno se observa para o ICP Subjetivo, porém, com mais clareza.

Figura 4.13: Gráfico com dados de ICP Objetivo real e previsto pelo modelo. Dados organizados pelo ICP Objetivo. Fonte: Autor.

Figura 4.14: Gráfico com dados de ICP Subjetivo real e previsto pelo modelo. Dados organizados pelo ICP Objetivo. Fonte: Autor.

Na Figura 4.15 pode ser observada parte das séries de dados reais das avaliações de 2005 e 2007. Parte das séries com os valores de ICP Objetivo e ICP Subjetivo previstos pelo modelo também são mostrados. Em ambos os casos os valores previstos são um pouco superiores aos reais.

2005				2007				Model Obj	Model Sub
	Obj	Sub	M&R		Obj	Sub	M&R	3,0	1,5
3296	99	98	NF	3296	99	99	NF	96,0	96,5
6739	99	98	NF	6739	98	97	NF	96,0	96,5
2626	99	98	NF	2626	96	95	NF	96,0	96,5
2628	99	98	NF	2628	95	92	NF	96,0	96,5
5942	99	98	NF	5942	99	99	NF	96,0	96,5
6027	99	98	NF	6027	99	99	NF	96,0	96,5
5946	99	98	NF	5946	99	99	NF	96,0	96,5
2082	98	95	NF	2082	90	92	MC	95,0	93,5
739	85	80	MC	739	78	73	MC	82,0	78,5
6029	85	85	MP	6029	71	70	RF	82,0	83,5
5986	85	85	MC	5986	81	81	MC	82,0	83,5
744	85	85	NF	744	81	82	MC	82,0	83,5
752	85	80	MC	752	88	88	MP	82,0	78,5
1006	85	80	MC	1006	83	85	MC	82,0	78,5
1673	85	85	MC	1673	70	68	RF	82,0	83,5
728	85	80	MC	728	88	86	NF	82,0	78,5
1945	85	80	MC	1945	67	70	RF	82,0	78,5
	92,0	89,0			88,0	87,2		89,0	87,6

Figura 4.15: Séries de dados reais para 2005 e 2007. Dados previstos pelo modelo para 2007 de ICP Objetivo e ICP Subjetivo. Dados organizados pelo ICP Objetivo. Fonte: Autor.

4.4.4 Validação do modelo de previsão de desempenho de pavimentos urbanos.

Dados das avaliações de 2005 organizados pelo ICP Subjetivo

Nesta seção foram realizados os mesmos testes para validação do modelo de previsão de desempenho dos pavimentos urbanos, porém, com os dados de 2005 organizados pelo ICP Subjetivo. O grupo de segmentos com ICP Subjetivo superior ou igual a 85 teve 141 segmentos.

A análise para validação do modelo foi por meio de testes estatísticos. A partir dos valores de ICP Objetivo e de ICP Subjetivo de 2005, aplicou-se o modelo, conforme definido na sua elaboração. Cada segmento de pista teve seu ICP Objetivo diminuído em 3 pontos.

Cada segmento de pista teve seu ICP Subjetivo diminuído em 2,0 pontos. Em ambos os casos o período de análise foi de dois anos. Os valores de ICP resultantes da aplicação do modelo foram comparados com dados reais de 2007.

Na Tabela 4.13 e Tabela 4.14 são apresentados os testes t de *Student*. Os critérios são os mesmos da seção anterior. Nível de confiança de 95% e hipótese H_0 com presunção de diferença de médias igual a zero.

O valor tabelado para o teste t é de 1,97. Para o ICP Objetivo, o valor calculado da estatística t foi de -1,67, inferior ao máximo. Para o ICP Subjetivo, o valor calculado da estatística t foi de -0,95, também inferior ao valor tabelado.

Portanto, pela análise de médias globais, tanto o ICP Objetivo quanto o ICP Subjetivo estão validados para dados das avaliações de 2005 organizadas pelo ICP Subjetivo.

Tabela 4.13: Teste t de Student para modelo de previsão de desempenho para ICP Objetivo. Dados organizados pelo ICP Subjetivo. Fonte: Autor.

REAL vs MODELO ICP OBJ		
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes		
	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	88,35	89,50
Variância	51,43	15,89
Observações	141	141
Variância agrupada	33,66	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	280	
Stat t	-1,67	
P(T<=t) uni-caudal	0,05	
t crítico uni-caudal	1,65	
P(T<=t) bi-caudal	0,10	
t crítico bi-caudal	1,97	

Tabela 4.14: Teste t de Student para modelo de previsão de desempenho para ICP Subjetivo. Dados organizados pelo ICP Subjetivo. Fonte: Autor.

REAL vs MODELO ICP SUB		
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes		
	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	87,42	88,09
Variância	51,80	18,59
Observações	141	141
Variância agrupada	35,20	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	280	
Stat t	-0,95	
P(T<=t) uni-caudal	0,17	
t crítico uni-caudal	1,65	
P(T<=t) bi-caudal	0,34	
t crítico bi-caudal	1,97	

São apresentados na Figura 4.16 e Figura 4.17 gráficos para verificação da correspondência entre os valores de ICP Objetivo e ICP Subjetivo real e previsto pelo modelo. Pode-se notar que os valores de ICP Objetivo são mais próximos da linha de correlação ideal do que os pontos do ICP Subjetivo.

A correlação entre o ICP Objetivo real e ICP Objetivo previsto com base em dados organizados pelo ICP Subjetivo foi de 0,59. Para o ICP Subjetivo a correlação foi de 0,52.

Figura 4.16: Gráfico com dados de ICP Subjetivo real e previsto pelo modelo. Dados organizados pelo ICP Subjetivo. Fonte: Autor.

Figura 4.17: Gráfico com dados de ICP Subjetivo real e previsto pelo modelo. Dados organizados pelo ICP Subjetivo. Fonte: Autor.

Na Figura 4.18 pode ser observada parte das séries comparadas para validação do modelo. O estudo foi elaborado e validado com recursos de planilha eletrônica.

2005				2007			Model Obj	Model Sub
Obj	Sub	M&R		Obj	Sub	M&R	3,0	2,0
98	95	NF	6025	94	97	NF	95,0	93,0
99	98	NF	2626	96	95	NF	96,0	96,0
99	98	NF	3296	99	99	NF	96,0	96,0
98	98	NF	6730	92	88	MC	95,0	96,0
97	98	NF	6732	91	92	MC	94,0	96,0
99	98	NF	6739	98	97	NF	96,0	96,0
99	98	NF	2628	95	92	NF	96,0	96,0
98	98	NF	6167	97	90	NF	95,0	96,0
91	85	NF	1939	79	76	RF	88,0	83,0
86	85	MC	3203	82	81	MC	83,0	83,0
85	85	NF	744	81	82	MC	82,0	83,0
90	85	NF	6045	80	60	RF	87,0	83,0
89	85	MC	721	71	72	RF	86,0	83,0
85	85	MC	1673	70	68	RF	82,0	83,0
93	85	NF	181	99	99	NF	90,0	83,0
88	85	MC	6735	80	80	MC	85,0	83,0
92	85	NF	6042	79	82	MC	89,0	83,0
83	85	MC	6747	77	70	RF	80,0	83,0
92,5	90,0			88,3	87,4		89,5	88,1

Figura 4.18: Séries de dados reais para 2005 e 2007. Dados previstos pelo modelo para 2007 de ICP Objetivo e ICP Subjetivo. Dados organizados pelo ICP Subjetivo. Fonte: Autor.

Como principais considerações da validação do modelo de previsão de desempenho pode-se destacar que independentemente dos dados serem organizados pelo ICP Objetivo ou ICP Subjetivo, houve aprovação pelo teste t de *Student*.

Quanto à correlação, esta se mostrou mais forte para o ICP Objetivo quando os dados são organizados por este parâmetro. Para o ICP Subjetivo, este apresenta correlação mais forte quando os dados são organizados pelo ICP Subjetivo.

Na Tabela 4.15 são apresentados, de modo resumido, os resultados de validação do modelo de previsão de desempenho, sejam os dados organizados por ICP Objetivo ou ICP Subjetivo.

Tabela 4.15: Resumo da validação do modelo de previsão de desempenho. Fonte: Autor.

VALIDAÇÃO DO MODELO DE PREVISÃO DE DESEMPENHO		
DADOS ORGANIZADOS PELO ICP OBJETIVO		
ICP Objetivo		
Teste t de Student		Correlação
Limite Tabelado	Valor Calculado	
1,97	-1,56	0,60
DADOS ORGANIZADOS PELO ICP SUBJETIVO		
ICP Subjetivo		
Teste t de Student		Correlação
Limite Tabelado	Valor Calculado	
1,97	-0,55	0,48
DADOS ORGANIZADOS PELO ICP OBJETIVO		
ICP Objetivo		
Teste t de Student		Correlação
Limite Tabelado	Valor Calculado	
1,97	-1,67	0,59
DADOS ORGANIZADOS PELO ICP SUBJETIVO		
ICP Subjetivo		
Teste t de Student		Correlação
Limite Tabelado	Valor Calculado	
1,97	-0,95	0,52

4.5 Análise econômica para previsão de recursos necessários para atividades de M&R com base nos dados de São Carlos

Na Tabela 4.16 são apresentados os resultados quanto aos tipos de M&R necessárias ao longo dos anos de 2003, 2005 e 2007. É apresentada também a quantidade de segmentos que necessitam de cada tipo de M&R e, ainda, os valores necessários para realizar as M&R indicadas. Os preços unitários de cada M&R são conforme TPU – DER/SP Dez/2016, apresentados na seção 3.4 (M&R e R\$/m²).

Os resultados são relativos a amostra de 220 segmentos. Para o ano de 2003, houve 125 com nada a fazer, 19 com manutenção preventiva, 68 com manutenção corretiva, 8 com reforço estrutural e 0 com necessidade de reconstrução. No caso específico de reconstrução, para que seja recomendada pelo avaliador, é necessário avaliação estrutural com viga Benkelman ou FWD para aferir a condição da camada de base da estrutura da via. Para se estimar os custos envolvidos é considerado que um segmento de pista padrão possui 100m de comprimento e 8 m de largura, com 800 m² de área. Quando o M&R é MP ou RF, considera-se que será aplicada em toda a área do segmento.

Quando a M&R é MC, considera-se que será aplicada em 240 m², que corresponde a 30% da área total. A área de 30% com defeitos é o limite para que se opte por RF e não mais MC.

Considerando os preços unitários da TPU-DER/SP de dezembro de 2016, o valor total necessário para as manutenções dos 220 segmentos de pista da amostra das vias de São Carlos foi, em 2003, de R\$ 2.444.552,16.

Para o ano de 2005 a necessidade orçamentária para realizar as M&R necessárias no mesmo grupo de 220 segmentos foi R\$3.264.929,76, um aumento de 33,6%. Para o ano de 2007, as necessidades de investimento subiram para R\$ 5.690.130,48, um aumento de 132,8% em relação a 2003 e 65,0% em relação a 2005.

Tabela 4.16: Resumo dos defeitos e custos – TPU DER/SP Dez/2016. Fonte: Autor.

		2003			2005			2007		
M&R	R\$/m²	nº segm.	ÁREA (m²)	R\$	nº segm.	ÁREA (m²)	R\$	nº segm.	ÁREA (m²)	R\$
NF	0	125	0	0,00	105	0	0,00	65	0	0,00
MP	7,01	19	800	106.552,00	14	800	78.512,00	8	800	44.864,00
MC	113,49	68	240	1.852.116,00	88	240	2.396.856,00	98	240	2.669.226,00
RF	75,92	8	800	485.884,16	13	800	789.561,76	49	800	2.976.040,48
RC	128,36	0	800	0,00	0	800	0,00	0	800	0,00
TOTAL R\$				2.444.552,16			3.264.929,76			5.690.130,48

Na Figura 4.19 pode-se observar a evolução das necessidades em um gráfico. Os resultados são coerentes com o conceito de desempenho dos pavimentos em que a serventia diminui mais rapidamente quanto pior a condição da via. A via em pior condição resulta em necessidades de M&R também mais onerosas aos cofres públicos. Esses dados sugerem que as M&R adotadas pela prefeitura conduzem à diminuição da serventia das vias, com necessidades orçamentárias cada vez maiores, o que pode resultar na impossibilidade de manter as vias em condições adequadas para os usuários.

Figura 4.19: Necessidades orçamentárias para M&R. Amostra de 220 segmentos. Fonte: Autor.

Na Tabela 4.17 são apresentados os dados das necessidades de M&R para a amostra de 220 segmentos durante os anos de 2003, 2005 e 2007. Os dados foram organizados de tal maneira que em cada linha da tabela, ao lado da M&R indicada, está o valor médio do ICP Objetivo dos segmentos que tinham aquela M&R indicada. Em seguida, na mesma linha, está o nº de segmentos de pista que necessitavam daquela M&R. Por exemplo, no ano de 2003, havia 125 segmentos com indicação de Nada a Fazer e o valor médio do ICP Objetivo desses segmentos era de 94,2. Já em 2005, havia 106 segmentos com M&R indicada NF com média do ICP Objetivo 93,0. Em 2007, eram 65 segmentos com NF e média de ICP Objetivo 91,8. De modo similar foram determinados os valores médios de ICP Objetivo para cada ano e para cada opção de M&R.

Pode-se observar que, ao longo dos anos da análise, ao mesmo tempo em que a média de ICP diminui para o grupo de segmentos cuja M&R é NF, a média de ICP aumenta para a M&R MC. Pode-se inferir que isso se deve ao fato de que os segmentos com menor valor de ICP em 2003 cuja M&R era NF, passaram a necessitar de MC em 2005. No mesmo sentido, os segmentos cuja M&R era NF, mas ainda não necessitam de alguma M&R, perceberam sua serventia diminuir com o passar do tempo. Os valores de ICP apresentados na Tabela 4.17 são para subgrupos de segmentos pista, conforme nº de segmentos em cada M&R e ano, e não para os 220 segmentos que são o total da amostra.

Tabela 4.17: Valores médios de ICP Objetivo para cada tipo de M&R em 2003, 2005 e 2007.
Fonte: Autor.

220 Segmentos						
2003			2005		2007	
	ICP OBJ.	nº segm.		ICP OBJ.	nº segm.	
NF	94,2	125		93	106	91,8 65
MP	86,6	19		90,4	14	90,9 8
MC	82,5	68		83,9	87	84,8 96
RF	76,6	8		69,3	13	73,4 51

Com base nos resultados apresentados na Tabela 4.17 foi elaborada a Tabela 4.18. Pode-se observar que, na primeira linha estão as possíveis M&R, exceto Reconstrução, conforme já explicado. Na linha abaixo estão calculados os valores médios de ICP Objetivo para aquela M&R, conforme valores, ano a ano, da Tabela 4.17.

Por exemplo, para a M&R = MP, o valor médio de ICP dos segmentos é a média dos ICP de todos os anos das séries analisadas ($86,6 + 90,4 + 90,9$, dividido por 3 = 89,3). Na última linha estão calculados os valores de ICP considerados de transição entre os tipos de M&R. Esses valores de transição são obtidos pela média dos valores médios de ICP de cada M&R. Por exemplo, para se definir o valor de ICP Objetivo de transição da M&R MP para MC, basta encontrar o ponto médio entre elas ($89,3 + 83,7$ dividido por 2 = 86,5).

Assim pode-se estabelecer, em função do valor do ICP Objetivo qual a M&R mais adequada para cada segmento de pista em análise da malha viária em nível de rede. Os valores são expressos em números inteiros

Tabela 4.18: Valores médios de ICP Objetivo para mudança de M&R. Fonte: Autor.

M&R	NF	MP	MC	RF
ICP Obj. Médio	93	89	84	73
ICP Obj. de transição	91	87	78	

Também com base nos dados da Tabela 4.17 foi elaborada a Tabela 4.19. Nesta são apresentados os dados de M&R ano a ano, porém, organizados de modo que foi acompanhado como as necessidades de M&R evoluíram a partir de 2003.

Por exemplo, dos 125 segmentos que, em 2003, necessitavam de NF, 82 deles ainda necessitavam da mesma M&R em 2005. Os demais segmentos necessitavam, em 2005, de MP e MC, 5 e 38 segmentos, respectivamente, e nenhum de RF.

Com base nos dados da Tabela 4.19 pode-se inferir que quando um conjunto de segmentos de pista tem como M&R indicada NF, esta se mantém por dois anos. Mas, após quatro anos, a NF não é mais a maioria das M&R indicadas, ainda que seja a

mais numerosa. A M&R MC, segunda mais indicada, parece ser a mais adequada e provável após quatro anos.

Quando um conjunto de segmentos tem como M&R indicada a MP, esta se mantém por até dois anos, depois passa a necessitar de MC. Quando um conjunto de segmentos necessita de MC, após dois anos ainda necessita de MC, porém, após quatro anos já é necessário o Reforço Estrutural – RF.

Tabela 4.19: Evolução das necessidades de M&R. Fonte: Autor.

220 Segmentos					
2003		2005		2007	
M&R	nº segm.	M&R	nº segm.	M&R	nº segm.
NF	125	NF	82	NF	52
		MP	5	MP	5
		MC	38	MC	43
		RF	0	RF	7
MP	19	NF	8	NF	3
		MP	4	MP	1
		MC	4	MC	8
		RF	3	RF	7
MC	68	NF	16	NF	10
		MP	4	MP	2
		MC	40	MC	28
		RF	8	RF	28
RF	8	NF	0	NF	0
		MP	1	MP	0
		MC	5	MC	0
		RF	2	RF	8

Com base nos dados da Tabela 4.19 foi elaborada uma sequência de atividades de M&R desde a construção do pavimento (Ano 0) até a necessidade de Reforço Estrutural – RF (Ano 6). Na Tabela 4.20 estão os resultados.

Tabela 4.20: Atividades de M&R ao longo da vida útil do pavimento urbano. Fonte: Autor.

ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6
NF	NF	NF	MC	MC	MC	RF

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 4.16 a Tabela 4.20 e, também, com as considerações da Tabela 3.1, foi elaborado um comparativo de três cenários que simulam a evolução das necessidades de M&R ao longo da vida útil de um pavimento. Cada um dos três cenários está agrupado na Tabela 4.21.

No primeiro cenário, foi simulada a evolução das necessidades de M&R e os custos associados com base na evolução das M&R conforme a Tabela 4.20. Nesse cenário, as atividades realizadas são aquelas apontadas pelas pesquisas de SGPU no Brasil, em que se constatou que são realizadas apenas operações tapa-buracos e recapeamentos. Esse primeiro cenário foi chamado de “REAL”.

No segundo cenário simulado, foram consideradas as hipóteses relatadas pela literatura técnica, conforme apresentado no Capítulo 2 desta tese. A mais relevante consideração é de que um pavimento tem até três anos a mais de vida útil quando as trincas são seladas. Nesse cenário são aplicados os conceitos do SGPU. Não se permite que uma via tenha mais de 30% da área com quaisquer defeitos, sendo um dos possíveis gatilhos para realizar um RF. Esse cenário foi chamado de “IDEAL (SGPU)”.

No terceiro cenário simulado, buscou-se uma situação de evolução das M&R necessárias entre o cenário “REAL” e o cenário “IDEAL”. O terceiro cenário foi chamado de “INTERMEDIÁRIO”.

Foi analisado um período correspondente a dois ciclos de vida útil do pavimento quando recebe M&R no padrão do cenário “real”, que corresponde a 13 anos de simulação.

Na primeira linha da tabela estão os anos da simulação, que começa em 2016 e vai até 2029. Na segunda linha está o ano de referência, sendo que o ano de 2016 é o Ano 0, aquele em que o pavimento foi entregue ao tráfego. Na terceira linha estão as M&R, ano a ano, conforme Tabela 4.20. São 3 anos com a M&R NF, mais 3 anos com a M&R MC, e no ano 6 é necessário RF. O ciclo se repete até novo RF no ano 13. Na quarta linha estão os valores de ICP em função do M&R sugerida, conforme Tabela 4.18. Na quinta linha estão os valores necessários para realizar a M&R sugerida. Os

preços unitários são os da Tabela de Preços Unitários do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo de dezembro de 2016 (TPU – DER/SP – dez/2016). As áreas são 800 m² para MP e RF e 240 m² para MC. A partir do ano 0 há correção dos preços unitários de cada M&R. O valor do reajuste é de 5% ao ano, coerente com as variações oficiais dos custos da construção nos últimos anos. Na sexta linha estão os valores de ICP conforme previsão do modelo de desempenho.

Ao final de cada linha da tabela estão valores médios de ICP e investimentos necessários em média por ano para realizar as manutenções necessárias em um único segmento de pista com área total definida em 800 m². Sempre que é realizada MP ou RF a nota de ICP vai para 93. A partir de então há o desconto de 1,5 ponto ao ano para o ICP previsto pelo modelo, que são os 3 pontos a cada biênio conforme seção 4.4.3.

Os critérios aplicados nos três cenários foram os mesmos.

No primeiro cenário pode-se verificar que o custo médio ao ano para um segmento de pista é de R\$28.848,22. Para o segundo cenário o custo médio foi de R\$12.762,19. A relação entre eles é de 2,26. A opção de manutenção conforme SGPU custa menos da metade do que se faz nas prefeituras brasileiras. No terceiro cenário, o valor médio ao ano é ainda menor, de R\$12.330,70. Era esperado que o terceiro cenário resultasse em custo maior do que o cenário ideal, porém, isso não ocorreu. A análise apenas dos segundo e terceiro cenário permite verificar que as M&R são as mesmas nas duas simulações. Como no terceiro cenário houve RF antes do que no segundo, os preços unitários são menores e, portanto, o preço total também. Se o período de simulação se estendesse, o terceiro cenário entraria na fase de necessidade de M&R antes, e teria o custo médio de manutenção mais elevado.

Quanto aos valores de ICP, o segundo cenário e o terceiro tiveram valores médios idênticos, 90. O cenário real teve ICP médio de 86. Para o ICP previsto os segundo e terceiro cenários tiveram valores próximos, 90 e 91, respectivamente. No cenário real, o ICP médio previsto foi de 89. Pode-se inferir que a estratégia das prefeituras brasileiras para conservação viária é mais onerosa e mantém as vias em pior condição do que é possível com SGPU.

Tabela 4.21: Previsão de desempenho e custos associados ao um segmento de pista – TPU DER/SP Dez/2016. Fonte: Autor.

SIMULAÇÃO PARA 1 SEGMENTO DE PISTA COM ÁREA DE 800 m² (PARA M&R = MC ==> ÁREA = 240m²)															
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	
	ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10	ANO 11	ANO 12	ANO 13	Média / Segm.
REAL	NF	NF	NF	MC	MC	MC	RF	NF	NF	NF	MC	MC	MC	RF	
ICP Obj. Médio	93,0	93,0	93,0	83,7	83,7	83,7	73,1	93,0	93,0	93,0	83,7	83,7	83,7	73,1	86
R\$ Necessário	0,00	0,00	0,00	31.322,55	32.684,40	34.046,25	78.956,18	0,00	0,00	0,00	40.855,50	42.217,35	43.579,20	100.213,61	28.848,22
ICP Obj. previsto	93,0	91,5	90,0	88,5	87,0	85,5	84,0	93,0	91,5	90,0	88,5	87,0	85,5	84,0	89
IDEAL (SGPU)	NF	NF	NF	MP	NF	NF	NF	MC	MC	RF	NF	NF	NF	MP	
ICP Obj. Médio	93,0	93,0	93,0	89,3	93,0	93,0	93,0	83,7	83,7	73,1	93,0	93,0	93,0	89,3	90
R\$ Necessário	0,00	0,00	0,00	6.449,20	0,00	0,00	0,00	36.769,95	38.131,80	88.066,50	0,00	0,00	0,00	9.253,20	12.762,19
ICP Obj. previsto	93,0	91,5	90,0	93,0	93,0	91,5	90,0	88,5	87,0	85,5	93,0	91,5	90,0	88,5	90
INTERMEDIÁRIA	NF	NF	NF	MP	NF	NF	MC	MC	RF	NF	NF	NF	MP	NF	
ICP Obj. Médio	93,0	93,0	93,0	89,3	93,0	93,0	83,7	83,7	73,1	93,0	93,0	93,0	89,3	93,0	90
R\$ Necessário	0,00	0,00	0,00	6.449,20	0,00	0,00	35.408,10	36.769,95	85.029,73	0,00	0,00	0,00	8.972,80	0,00	12.330,70
ICP Obj. previsto	93,0	91,4	89,9	88,4	93,0	91,5	90,0	88,5	87,0	93,0	91,5	90,0	88,5	93,0	91
Preços Unitários, em reais (R\$), das M&R ajustados em 5% ao ano sobre a data-base de dezembro de 2016 (Ano 0).															
	ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10	ANO 11	ANO 12	ANO 13	
Reajuste	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	
MP	7,01	7,36	7,71	8,06	8,41	8,76	9,11	9,46	9,81	10,16	10,52	10,87	11,22	11,57	
MC	113,49	119,16	124,84	130,51	136,19	141,86	147,53	153,21	158,88	164,56	170,23	175,91	181,58	187,25	
RF	75,92	79,72	83,51	87,31	91,10	94,90	98,70	102,49	106,29	110,08	113,88	117,68	121,47	125,27	

4.6 Atividade de M&R em São Carlos/SP e San Antonio, Texas, EUA

Como parte desta tese de doutorado foi realizado estágio (Programa de Doutado Sanduíche no Exterior – PDSE) na Universidade do Texas em San Antonio (UTSA), sob supervisão do professor Dr. José Weissmann. Havia previsão de participação em projetos na área de gerência de pavimentos urbanos, com foco nas mais recentes técnicas de avaliação dos defeitos presentes na superfície do pavimento, com o objetivo de acelerar os trabalhos de campo, reduzir custos, aumentar a eficiência e viabilizar a implantação e uso continuado de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) nas cidades brasileiras.

A UTSA ofereceu plenas condições para a realização da pesquisa, com amplo acesso a laboratório, escritório, biblioteca e internet. Além de participar de aulas em disciplina da graduação e pós-graduação houve vez em que foi possível ministrar aula para a graduação, o que conferiu um toque especial ao estágio no exterior.

O estágio foi realizado nos meses de julho, agosto, setembro e outubro de 2013. Durante o período do estágio ocorreu algo imprevisto e imprevisível. Não houve aprovação do orçamento anual pelo congresso dos EUA, cujo ano fiscal se inicia em setembro. O resultado foi a paralisação de serviços públicos, com fechamento de parques, bibliotecas, órgãos públicos e falta de repasses financeiros para pesquisas novas ou em andamento. Isso impactou negativamente nas atividades previstas para o estágio. Esse evento é chamado de “*shutdown*”.

A Universidade do Texas mantém pesquisas em parceria com o Departamento de Transportes do Governo Estadual do Texas (TxDOT), favorecendo a transferência de conhecimentos científicos e práticos. Durante o estágio na UTSA foi prevista a participação em projetos e pesquisas que pudessem resultar em avanço no estado da arte no Brasil, porém, devido ao “*shutdown*” e, sem recursos financeiros próprios, as instituições públicas não continuaram suas atividades de pesquisa.

Apesar do contratempo, houve contato com o gerente de manutenção da malha viária pavimentada de San Antonio, K. M. Rhaman (Milton), que era, à época, aluno de

doutorado na UTSA, sob orientação do Prof. Dr. Weissmann. Foram realizados encontros onde foi discutido o plano de atividades de manutenção e reabilitação em vigência para a conservação da malha viária de San Antonio. O material disponibilizado foi restrito ao que é de conhecimento público. Itens sigilosos não foram disponibilizados ou foi solicitado que não fossem publicados, o que foi seguido nesta tese.

Com base em reuniões realizadas na Prefeitura e na análise do material impresso disponibilizado pela prefeitura de San Antonio foi possível verificar que os principais elementos do Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos da cidade são:

- A manutenção de contratos com empresas que realizam as avaliações de campo com regularidade e atualizam o banco de dados do sistema de gerência de pavimentos para acompanhamento da condição das vias e otimização da tomada de decisão.
- As avaliações de campo são realizadas por medição do Índice de Condição do Pavimento (ICP), proposto por Shahin em 1979, a cada dois anos.
- Além do ICP, há equipamento de coleta automatizada de dados de campo. Os principais dados coletados são as trincas, desgaste, afundamentos na trilha de roda e afundamentos localizados.
- É obtido um perfil longitudinal por equipamento a laser e é feita filmagem de toda a malha pavimentada para posterior análise no escritório. Isso permite o arquivamento de imagens que podem ser consultadas a qualquer instante para sanar eventuais dúvidas.

Os principais serviços realizados para a manutenção das vias são:

- Selagem de trincas;
- Execução de remendos cuja qualidade é bem controlada;
- Reparos na base do pavimento;
- Serviços emergenciais;
- Recapeamentos e reabilitação das vias; e
- Preservação do pavimento.

A reabilitação das vias é realizada por equipes próprias (no caso de vias locais) ou por equipes contratadas (no caso de vias coletoras ou arteriais). A rede municipal contém aproximadamente 4 mil milhas de extensão (cerca de 6.500,00 km), sendo a maior parte pavimento flexível. A cidade é dividida em 10 distritos (setores administrativos).

A avaliação automatizada usa tecnologia avançada para aumentar a objetividade na classificação/pontuação. Os dados coletados incluem:

- Trincas, desgaste, depressões e abertura de valas;
- Qualidade de rolamento através de scanner a laser; e
- Imagens de vídeo da condição do pavimento para arquivo e consultas.

O Índice de Condição do Pavimento (ICP) varia de 0 (pior condição) até 100 (condição excelente). De acordo com as avaliações de 2010, na cidade de San Antonio, 25% das seções apresentam condição razoável ou inferior (ICP menor ou igual a 60). 73% apresentam condição boa ou melhor (ICP maior ou igual a 61). 2,09% das seções não foram avaliadas e portanto não tem pontuação de ICP.

De acordo com a pontuação do ICP, existe uma árvore de decisões para as atividades de manutenção e reabilitação.

ICP entre 0 e 30

- Arterial => reconstrução;
- Coletora => reconstrução;
- Local => reconstrução.

ICP entre 31 e 40

- Arterial => reconstrução
- Coletora => reconstrução
- Local => recuperação

ICP entre 41 e 60

- Arterial => recapeamento

- Coletora => recapeamento
- Local => recapeamento

ICP entre 61 e 75

- Arterial => mistura a quente ou microrrevestimento
- Coletora => mistura a quente ou microrrevestimento
- Local => mistura a quente ou microrrevestimento

ICP entre 76 e 90

- Arterial => lama asfáltica
- Coletora => lama asfáltica
- Local => lama asfáltica

ICP entre 91 e 95

- Arterial => selar trincas
- Coletora => selar trincas
- Local => selar trincas

ICP entre 96 e 100

- Arterial => nada a fazer
- Coletora => nada a fazer
- Local => nada a fazer

O Software de Gerência e Manutenção dos Pavimentos cria projetos para todo segmento da rede e recomenda soluções e custos de acordo com o valor do Índice de Condição do Pavimento (ICP). Ainda são considerados rotas de ônibus, densidade de desenvolvimento (urbano, suburbano e rural) e a classificação das vias (arterial, coletora e local).

Há um cronograma específico que se repete todo ano para as atividades de M&R:

- Janeiro a junho os funcionários reveem as listas de ruas, equipes de campo verificam todos os projetos propostos e fornecem recomendações.
- Julho: os distritos reveem as recomendações e fornecem uma resposta.

- Agosto: lista final de ruas é desenvolvida e submetida para aprovação do Conselho.

A média de ICP da rede pavimentada de San Antonio é 75, mas a prefeitura tem a expectativa de elevar para 90 nos próximos anos. A verba disponível para manutenção, nos últimos sete anos, tem sido de 36 milhões de dólares a cada ano e as necessidades são de 56 milhões de dólares a cada ano. Isso evidencia a necessidade de um planejamento das atividades de M&R de modo a otimizar o uso dos recursos, obtendo a rede na melhor condição possível ao menor custo.

A prefeitura de San Antonio conta ainda com um Sistema de Informações Geográficas com aplicações em Transportes (SIG-T). É possível verificar espacialmente a condição atual, realizar simulações e apresentar diferentes cenários para os diretores e para a população, de modo a evidenciar as consequências das atividades de M&R.

No Brasil não há Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU). É mais comum que as prefeituras optem por operações tapa-buracos e recapeamentos. Com mais opções e planejamento das atividades de Manutenção e Reabilitação, a exemplo do que ocorre na prefeitura de San Antonio, é possível prolongar a vida útil do pavimento, diminuir os custos de manutenção ao longo do tempo e melhorar a condição da malha como um todo, ainda que os recursos disponíveis sejam menores que a necessidades.

A seguir, da Figura 4.20 até a Figura 4.23 são apresentados exemplos de vias em diferentes condições de conservação, conforme critérios da Prefeitura de San Antonio.

É possível verificar que os critérios são bastante rigorosos considerando-se as pretensões da Prefeitura de manter o ICP médio próximo a 90, porém, essa estratégia tem como objetivo diminuir a necessidade orçamentária ao longo dos anos, pois pavimentos em melhor condição são mantidos com menor necessidade de investimentos.

Figura 4.20: Segmento de Pista em péssima condição com ICP entre 0 e 40. Fonte: Acervo da Prefeitura Municipal de San Antonio, Texas, EUA, 2013.

Figura 4.21: Segmento de Pista condição ruim com ICP entre 41 e 60. Fonte: Acervo da Prefeitura Municipal de San Antonio, Texas, EUA, 2013.

Figura 4.22: Segmento de Pista em boa condição com ICP entre 61 e 90. Fonte: Acervo da Prefeitura Municipal de San Antonio, Texas, EUA, 2013.

Figura 4.23: Segmento de Pista em excelente condição com ICP entre 91 e 100. Fonte: Acervo da Prefeitura Municipal de San Antonio, Texas, EUA, 2013.

Para a realização das atividades de M&R, a Prefeitura dispõe de equipamentos e pessoal próprio para manutenção de vias locais. Para vias coletoras ou arteriais são contratadas empresas privadas. Como exemplos de equipamentos utilizados nas M&R em San Antonio, podem-se considerar a Figura 4.24 a Figura 4.28.

Figura 4.24: Equipamento para selar trincas. Fonte: Acervo da Prefeitura Municipal de San Antonio, Texas, EUA, 2013.

Figura 4.25: Espalhamento de espuma de asfalto como manutenção preventiva. Fonte: Acervo da Prefeitura Municipal de San Antonio, Texas, EUA, 2013.

Figura 4.26: Aplicação de mistura asfáltica para manutenção corretiva, remendo. Fonte: Acervo da Prefeitura Municipal de San Antonio, Texas, EUA, 2013.

Figura 4.27: Camada de reforço estrutural. Fonte: Acervo da Prefeitura Municipal de San Antonio, Texas, EUA, 2013.

Figura 4.28: Reconstrução total da via. Fonte: Acervo da Prefeitura Municipal de San Antonio, Texas, EUA, 2013.

A Figura 4.29 mostra o equipamento utilizado para coleta automatizada de dados de campo, para filmagens e levantamento do perfil longitudinal.

Figura 4.29: Equipamento para avaliação automatizada das vias. Fonte: Acervo da Prefeitura Municipal de San Antonio, Texas, EUA, 2013.

Complementarmente, são apresentados os procedimentos identificados para recapeamento da avenida Getúlio Vargas, via arterial de São Carlos.

Na Figura 4.30 pode-se observar o lançamento da pintura de ligação com a “caneta”, dispositivo que aplica de modo não homogêneo a emulsão asfáltica. O correto é com a espargidor acoplado no caminhão.

Figura 4.30: Aplicação de pintura de ligação com “caneta”. Fonte: Autor.

Na Figura 4.31 verifica-se o trânsito de caminhões da obra sobre a superfície com a pintura de ligação. Nas Figuras 4.32 até 4.35 podem ser observados os efeitos danosos da circulação de veículos sobre a via com a emulsão recém aplicada.

Figura 4.31: Via com emulsão aplicada e caminhão circulando sobre a pintura de ligação.
Fonte: Autor.

Figura 4.32: Caminhão da obra retira parte da pintura de ligação. Fonte: Autor.

Figura 4.33: Caminhão e vibro acabadora da obra retiram parte da pintura de ligação. Fonte: Autor.

Figura 4.34: Detalhe da pintura de ligação danificada (1). Fonte: Autor.

Figura 4.35: Detalhe da pintura de ligação danificada (2). Fonte: Autor.

Nas Figuras 4.36 e 4.37 podem ser verificados os procedimentos de lançamento da mistura asfáltica. Pode-se, ainda, observar a espessura da camada aplicada de CAUQ, a qual, mesmo sem uma medida precisa de espessura, é menor do que a espessura observada na Figura 4.27, em San Antonio.

Figura 4.36: Aplicação da mistura asfáltica sobre pintura de ligação danificada. Fonte: Autor.

Figura 4.37: Detalhe da aplicação da mistura asfáltica (espessura). Fonte: Autor.

Na Figura 4.38 está o rolo de pneus para compactar a mistura asfáltica. Na Figura 4.39 aparecem os rolos de pneus e chapa para compactação de misturas asfálticas.

Quando se pretende responder porque as vias em países desenvolvidos são melhores, possíveis explicações são:

- As condições de realização das atividades de M&R são bastante diferentes quando se comparam os processos aplicados em São Carlos/SP e San Antonio/Tx.
- A espessura do revestimento aplicado em São Carlos é visivelmente menor daquela aplicada em San Antonio. É importante ressaltar que a via objeto de manutenção em São Carlos é uma arterial que liga a rodovia Washington Luis ao Distrito Industrial de São Carlos e a toda região central da cidade. A via que recebeu M&R em San Antonio é uma via local.
- Em São Carlos, no exemplo apresentado, a pintura de ligação foi aplicada com a “caneta” e não com espargidor acoplado ao caminhão tanque de emulsão. Além disso, houve descontinuidade na pintura de ligação devido ao trânsito de veículos sobre a superfície com emulsão. Basta realizar o “salgamento” da via, que consiste em aplicar, com pá, uma camada de mistura sobre a superfície

com emulsão. Ou, um caminhão entra de ré, com a caçamba basculada e espalha o CAUQ sobre a via já com pintura de ligação curada.

Figura 4.38: Detalhe da compactação da mistura asfáltica. Fonte: Autor.

Figura 4.39: Rolos compactadores de mistura asfáltica. Fonte: Autor.

A comparação das técnicas e equipamentos apresentados nesta seção permitem inferir que:

- As técnicas de conservação usadas em San Antonio são perfeitamente aplicáveis às cidades brasileiras, ainda que nas prefeituras brasileiras não haja veículo equipado para filmagens e coleta automatizada dos defeitos e perfil longitudinal;
- Parte considerável das pesquisas no Brasil em gerência de pavimentos urbanos se baseia na obtenção de um Índice de Condição do Pavimento a partir dos defeitos da superfície. Portanto, é um procedimento razoavelmente conhecido. Com mais participação da Universidade nas decisões gerenciais dos municípios (a exemplo do que ocorre nos Estados Unidos) é possível melhorar a tomada de decisão no tocante à conservação das vias públicas;
- Uma árvore de decisão com soluções baseadas no valor do ICP deve ser elaborada de modo a ser compatível com os serviços do dia-a-dia das prefeituras;
- Os remendos são defeitos bastante presentes nas cidades brasileiras. O acompanhamento e controle de sua execução são fundamentais para a preservação da qualidade das vias urbanas;
- O uso de um SIG-T facilita a apresentação dos resultados das avaliações de campo e possibilita a realização de simulações da condição futura mediante diferentes estratégias de M&R;
- É necessário que haja equipes para avaliação de campo e que as avaliações sejam usadas para acompanhar o desempenho do pavimento. Caso o desempenho não seja o esperado, devem-se buscar novas técnicas e materiais para a construção e conservação das vias pavimentadas.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS DO DISTRITO FEDERAL

Como parte integrante desta tese são apresentados, neste capítulo, estudos relativos ao Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos do Distrito Federal – SGPU/DF. O acesso aos dados do SGPU/DF foi viabilizado pelo fato do autor da tese ser, desde 2015, empregado da Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil – Novacap, na função de Assessor da Diretoria de Urbanização, e lida diretamente com o projeto e controle tecnológico de obras de infraestrutura urbana e com o SGPU. A Novacap é uma empresa pública, com 51% de suas ações do Governo do Distrito Federal – GDF e 49% do Governo Federal. A Novacap foi a empresa que construiu Brasília, a partir de então administra diversos contratos de ampliação e manutenção da infraestrutura urbana e, desde 2010, possui um SGPU implantado e em operação.

Neste capítulo são apresentados e analisados diferentes aspectos do SGPU do Distrito Federal. Cada situação particular é mostrada separadamente, conforme a seguir:

- O sistema viário do Distrito Federal e os parâmetros utilizados para o desenvolvimento do SGPU, com exemplos de telas da interface do software do sistema e obtenção de recursos para o Programa Asfalto Novo;
- Dados referentes a um estudo de caso com base no SGPU para apoio à decisão em licitação para conservação de vias – manutenção preventiva e corretiva; e
- Dados referentes à Região Administrativa – RA Brasília - Plano Piloto. São apresentados os possíveis atributos de um SGPU assistido por um SIG-T com mapas temáticos.
- O impacto do Programa Asfalto Novo na condição das vias e a consequência por não haver o planejamento adequado das atividades de M&R

5.1 Sistema viário do Distrito Federal, implantação do SGPU e Programa Asfalto Novo.

Com base nos dados das avaliações de campo realizadas para a implantação do SGPU foi possível gerar informações sobre a malha viária de todo o Distrito Federal,

os quais permitiram e permitem ampliar a consistência da tomada de decisão em diversos níveis hierárquicos da administração pública.

Pelo atributo “Tipo de Via” são identificados, na base espacial, os segmentos avaliáveis, e enviadas as equipes para o campo. Os segmentos são definidos por “nós” no Sistema de Informações Geográficas – SIG. Cada nó, em geral, está no cruzamentos de dois segmentos e assim a malha viária é dividida em segmentos de pista. Eram 107.081 segmentos de pista no total no ano de 2012. Os tipos de via avaliados pelo SGPU são Rua (52.567 segmentos), Via Interna (10.207 segmentos) e Via (14.083 segmentos). O total de segmentos avaliados pelo SGPU foi de 76.857 segmentos, desde a implantação do sistema em 2010 até 2012, com extensão total de 7.132,2 km, conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Extensão da malha viária do Distrito Federal em 2012. Fonte: Novacap.

Sigla	Tipo de Via	Segmentos	Extensão (km)
ACS	Acesso	2.296	81,44
AV	Avenida	3.834	363,37
BLVD	Boulevard	74	7,52
CAM	Caminho	5.648	1.206,55
CICLO	Ciclovía / Pista de Cooper	131	16,93
EST	Estacionamento	2.615	217,26
LIG	Alça de ligação	3.923	241,43
ROD	Rodovia	5.264	2.210,23
RT	Alça de retorno	6.169	165,18
RUA	Rua	52.567	4.771,18
T	Tesoura	204	29,91
TC	Tesoura Central	66	6,42
VI	Via Interna	10.207	1.199,15
VIA	Via	14.083	1.161,87
Total		107.081	11.678,44

As vias avaliadas pelo SGPU são divididas em Arteriais, Coletoras e Locais, com tráfego pesado, médio e leve, respectivamente.

A Figura 5.1 e a Tabela 5.2 ilustram a distribuição das classes hierárquicas no DF.

Figura 5.1: Classificação hierárquica das vias do Distrito Federal. Fonte: Novacap.

Tabela 5.2: Classe funcional das vias do Distrito Federal. Fonte: Novacap.

Hierarquia Viária	Segmentos	Extensão (Km)
Rodovias	7.000	2.343,73
Vias Arteriais	14.894	1.170,68
Vias Coletoras	16.795	1.103,51
Vias Locais	68.392	7.060,56
Total	107.081	11.678,48

Do total de 107.081 segmentos, uma parte é de responsabilidade da Novacap e outra parte é de responsabilidade do DER/DF.

São aproximadamente, 20% de jurisdição do DER/DF e 80% da Novacap. Contudo, o DER/DF possui dotação orçamentária e pode planejar suas atividades, já a Novacap, não possui dotação orçamentária.

Os recursos da Novacap são oriundos de contratos específicos para obras específicas. Essa forma de gestão da Novacap gera falta de planejamento de médio e longo prazos, com prejuízos socioeconômicos para a população. A Figura 5.2 e a Tabela 5.3 ilustram a divisão de domínio de vias do Distrito Federal.

Figura 5.2: Divisão de domínio das vias do Distrito Federal. Fonte: Novacap.

Tabela 5.3: Domínio das vias do Distrito Federal. Fonte: Novacap.

Domínio	Segmentos	Extensão Km
NOVACAP	100.035	9.327,98
DER	7.046	2.350,50
Total	107.081	11.678,48

A metodologia utilizada foi desenvolvida na USP de São Carlos pelo Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior em sua Tese de Livre Docência (2001) e adaptada às

condições brasileiras. A metodologia se baseia na *American Society for Testing and Materials - ASTM E1777 - Standard Guide for Prioritization of Data Needs for Pavement Management*, que fornece indicações para avaliação da condição dos diferentes tipos de pavimento (rodoviários, urbanos, aeroportuários, de estacionamento). Os critérios são aplicáveis tanto para a gerência em nível de rede quanto em nível de projeto.

Para gerar uma priorização de vias são necessários alguns componentes que forneçam dados e permitam realizar ajustes nos parâmetros do sistema. Os componentes utilizados na geração da priorização são obtidos de 4 fontes.

Base de Dados Espacial dos Segmentos de Pista:

- Código da RA;
- Nome da Via (quando designado);
- Status da Via;
- Hierarquia ou Classe Funcional;
- Extensão do Segmento;
- Tipo de Via;
- Domínio da Via;
- Ano Construção ou última manutenção e reabilitação - MR

Inventário das Vias, contendo entre outras, informações de:

- Volume de Tráfego;
- Largura da Via;
- Tipo de Pavimento identificado em campo;
- Tipos de Rota;
- Ano Construção ou Última MR.

Avaliações dos Pavimentos:

- ICP Avaliador;
- ICP Ponderado;
- Cadastro de Defeitos:
 - Cadastro dos Tipos de Defeitos;
 - Severidades (alta, média ou baixa);

- Extensões;
- Pontos Dedutíveis;

Parâmetros de Análise:

- Faixas de ICP;
- Faixas de Idade;
- Faixas de VDM;
- Árvore de Decisão;
- Custos Estimados de Manutenção;
- Valores Estimados de Orçamento;
- Matriz de valores da relação ICP / Idade;
- Matriz de valores da relação VDM / Classe Funcional.

Com esses dados o sistema gera para cada segmento de pista uma série de informações, desde a seleção da estratégia sugerida de manutenção, os custos estimados de manutenção, Índice de Prioridade Calculado e ordem de prioridade de intervenção em relação ao todo.

De acordo com a classificação e ordenação ascendente de prioridades, é feito o cálculo do custo acumulado e definido o ano estimado para realização da manutenção, de acordo os valores estimados e o orçamento disponível.

O sistema calcula o Índice de Prioridade (IP) de cada segmento por meio de duas matrizes, uma que relaciona o ICP e a Idade, com peso de 70% no valor do IP, e outra que relaciona o VDM com a Classe Funcional, com peso de 30% no valor do IP.

Para se levar em conta a existência de rotas de ônibus, de ambulâncias e de caminhões, divide-se o valor obtido pelas duas matrizes por um “fator de rota”, de tal forma que, quanto menor o valor do IP, maior a prioridade.

Portanto, com base no resultado do IP é definida a ordem de prioridades de intervenção, da mais importante para a menos importante, sendo criado um campo sequencial numérico, chamado Prioridade.

A partir dos dados de ICP, Idade e VDM, são selecionadas na árvore de decisão as estratégias de manutenção para cada segmento, e com base nos custos unitários de manutenção, são definidas as estimativas de custos por segmento.

Finalmente, com base na ordem de prioridade e tendo os custos por segmento calculados, são confrontados os dados com orçamento anual disponível, fazendo então a sugestão do ano para realizar a manutenção.

Para a implementação do SGPU em nível de rede na Novacap, de acordo com a avaliação da condição dos pavimentos a partir de levantamento de defeitos no campo, foram definidos parâmetros em função do tipo, severidade e extensão dos defeitos levantados (ICP, Índice de Condição do Pavimento), da idade do pavimento (pavimentos mais velhos são mais prioritários), da classe funcional (uma via arterial é mais prioritária do que uma via local) e do volume e tipo de tráfego (segmentos com elevado volume de tráfego e servindo de rota de ônibus e ambulâncias são mais prioritários).

Deve-se destacar que o método utilizado não é uma “caixa preta”, ou seja, permite à Novacap fazer os ajustes de acordo com a sua realidade e necessidade, que poderão e certamente irão mudar ao longo do tempo, de tal forma que o SGPU da Novacap tem mecanismos de adaptação a essas mudanças. Inicialmente, quando da implantação, foi necessário um processo de ajuste:

- Foram geradas priorizações e foram realizadas checagens em campo para verificar a qualidade dos resultados.
- Foram realizados ajustes nas faixas de ICP, para adequação a um maior rigor quando da seleção de estratégias (exemplo de mudanças ocorridas no Brasil de 2001, quando foi proposto o método pelo Prof. José Leomar, para 2011).
- Foi realizada uma depreciação nas vias principais, de acordo com os períodos avaliados, chegando a 10 pontos de ICP.

Na Figura 5.3 são apresentados os defeitos e suas ponderações.

Defeitos

Código: Defeitos_2011 Descrição: Defeitos_2011

Data: 7/20/2011 * Categoria: ☒ Oficial ☐ Simulação

Tabela Defeitos

ID	Descrição	Unidade	Pontuação	Fator Multiplicador
1	1 - Trincas por Fadiga (m2)	m2	20	2
2	2 - Trincas em Blocos (m2)	m2	5	0.5
3	3 - Trincas nos Bordos (m)	m	0	0
4	4 - Trincas Longitudinais (m)	m	5	0.5
5	5 - Trincas por Reflexão (m2)	m2	0	0
6	6 - Trincas Transversais (m)	m	0	0
7	7 - Remendos (m2)	m2	20	2
8	8 - Panelas (m2)	m2	10	1
9	9 - Deformação permanente (m2)	m2	5	0.5
10	10 - Corrugação (m2)	m2	0	0
11	11 - Exsudação (m2)	m2	0	0
12	12 - Agregados Polidos (m2)	m2	0	0
13	13 - Desgaste (%)	%	25	2.5
14	14 - Desnível Pista Acostamento (m)	m	0	0
15	15 - Bombeamento (m2)	m2	10	1

Figura 5.3: Defeitos e suas ponderações. Fonte: Novacap.

Para a priorização realizada foram utilizados os parâmetros relacionados ao Modelo 2012, conforme Figura 5.4.

Parametrização do Sistema

NomeParametro: Modelo_2012 Nome: Modelo_2012

Data: 28/11/2011 * Categoria: ☒ Oficial ☐ Simulação

Seleção

ICP_AV ICP_Oficial

Custos RA Idade_Oficial

Defeitos SGPU VDM_Oficial

FatorRota_Oficial Estrategias

Fator Social Idade Base: 15

Ano Base: 2012

Matriz ICP_IDADE_2012

Matriz VDM_CLASSE_2012

Cadastrar Peso

Figura 5.4: Seleção de parâmetros para priorização. Fonte: Novacap.

O modelo de análise composto possui uma estrutura tal que nas fases de geração inicial de informações, enquanto os modelos são calibrados, é recomendável a utilização do ICP do Avaliador, conforme destacado por Fernandes, Jr. e Pantigoso (1998) ao tratar dos critérios de priorização. Os intervalos são apresentados na Figura 5.5.

Código	ICP_Oficial	Descrição	ICP_Oficial
Data	28/11/2011	Categoria	☒ Oficial ☐ Simulação

Código	Descrição	Nível Mínimo	Nível Máximo
1	Muito Ruim	0	30
2	Ruim	30,1	50
3	Regular	50,1	80
4	Bom	80,1	90
5	Muito Bom	90,1	100

Figura 5.5: Níveis de ICP para priorização. Fonte: Novacap.

É necessário também definir critérios para o parâmetro idade, o qual influi na árvore de decisões para que o sistema recomende a M&R mais adequada. A Figura 5.6 apresenta os parâmetros de idade.

Código	Idade_Oficial	Descrição	Idade_Oficial
Data	20/07/2011	Categoria	☒ Oficial ☐ Simulação

Código	Descrição	Nível Mínimo	Nível Máximo
1	Muito Velho	20,1	100
2	Velho	15,1	20
3	Medio	10,1	15
4	Novo	5,1	10
5	Muito Novo	0	5

Figura 5.6: Parâmetros de idade do pavimento para priorização. Fonte: Novacap.

A definição dos conceitos de VDM associados a valores é importante para a árvore de decisões. Na Figura 5.7 são apresentados esses critérios.

Parâmetros de VDM

Código: Descrição:

Data: Categoria: ☒ Oficial ☐ Simulação

Lista de VDM

Código	Descrição	Nível Mínimo	Nível Máximo
1	1 - Muito Alto (> 30.000)	30000	100000
2	2 - Alto (15.000 < 30.000)	15000	30000
3	3 - Medio (5.000 < 15.000)	5000	15000
4	4 - Baixo (1.000 < 5.000)	1000	5000
5	5 - Muito Baixo (< 1.000)	0	1000

Figura 5.7: Parâmetros de VDM das vias para priorização. Fonte: Novacap.

Os parâmetros da árvore de decisão, ICP, Idade e VDM, são organizados em pares. A Figura 5.8 apresenta a matriz para ICP e Idade. A Matriz VDM e Classe Hierárquica está na Figura 5.9 e a ponderação para tipos de rotas está na Figura 5.10. Esses são os parâmetros que o sistema utiliza para definir a prioridade dos segmentos de pista candidatos a receberem alguma atividade de manutenção ou reabilitação.

Definições Iniciais

Parâmetro:

* Matriz: ☒ ICP_IDADE ☐ VDM_CLASSE

Campo X: Idade_Oficial Campo Y: ICP_2011

Matriz

		IDADE				
		1	2	3	4	5
ICP	1	1	2	3	4	5
	2	6	7	8	9	10
	3	11	12	13	14	15
	4	16	17	18	19	20
	5	21	22	23	24	25

Figura 5.8: Matriz ICP x Idade para priorização de vias. Fonte: Novacap.

Definições Iniciais

Parâmetro: Matriz VDM_CLASSE_2012

* Matriz: ☐ ICP_IDADE ☒ VDM_CLASSE

Campo X: Classe_Oficial Campo Y: VDM_Oficial

Matriz

		CLASSE				
		1	2	3	4	5
VDM	1	1	2	3	4	5
	2	6	7	8	9	10
	3	11	12	13	14	15
	4	16	17	18	19	20
	5	21	22	23	24	25

Figura 5.9: Matriz VDM x Classe Funcional para priorização de vias. Fonte: Novacap.

Parâmetros de Fator Rota

Código: FatorRota_Oficial Descrição: FatorRota_Oficial

Data: 20/07/2011 Categoria: ☒ Oficial ☐ Simulação

Tabela de Fator Rota

Código	Descrição	Fator Multiplicador
1	Onibus	1,2
2	Ambulancia	1,3
3	Lixo	1,4
4	Caminhoes	1,4
5	Outra	1,1

Figura 5.10: Ponderação de rotas prioritárias para priorização de vias. Fonte: Novacap.

Uma vez parametrizado o sistema, parte-se para a elaboração de estimativa de custos para as manutenções. As tabelas de Custos de Manutenção utilizadas são os valores gerais obtidos das composições de custos da Novacap. É extraído delas o valor do custo por metro quadrado. O sistema permite que os valores sejam variáveis por RA, de acordo com as diferenças de distâncias médias de usinas de CAUQ, cascalheiras, pedreiras e outros fatores de construção.

A árvore de decisão é um dos principais componentes do sistema e permite definir estratégias sugeridas de manutenção. Seus parâmetros podem ser ajustados e refinados ao longo do tempo.

Para definição da Árvore de Decisão, cada associação de faixas de ICP (Índice de Condição do Pavimento), Idade e VDM (Volume Diário Médio d Veículos), remete a uma estratégia de manutenção. Esta será utilizada pelo sistema no momento em que é gerada a priorização. As estratégias podem variar em função de cada um dos fatores avaliados. De acordo com as tabelas de ICP, Idade e VDM são 125 níveis de decisão, ou seja, a combinação de 5 faixas de cada uma das 3 tabelas. Mais detalhes na Figura 5.11

Parâmetro Árvore de Decisão

Código: Arvore Decisao 2011 Nome: Arvore Decisao 2011

Data: 8/18/2011 * Categoria: ☒ Oficial ☐ Simulação

Tabela

ICP	IDADE	VDM	ESTRATÉGIA	DESCRIÇÃO DA ESTRATÉGIA
1	1	1	6	Reconstrução
1	1	2	6	Reconstrução
1	1	3	5	Reforço com Fresagem
1	1	4	5	Reforço com Fresagem
1	1	5	5	Reforço com Fresagem
1	2	1	6	Reconstrução
1	2	2	6	Reconstrução
1	2	3	5	Reforço com Fresagem
1	2	4	5	Reforço com Fresagem
1	2	5	5	Reforço com Fresagem
1	3	1	6	Reconstrução
1	3	2	6	Reconstrução
1	3	3	5	Reforço com Fresagem
1	3	4	4	Reforço Convencional
1	3	5	4	Reforço Convencional
1	4	1	5	Reforço com Fresagem
1	4	2	5	Reforço com Fresagem

Figura 5.11: Árvore de decisão e escolha da M&R para priorização de vias. Fonte: Novacap.

O método de seleção de estratégias de intervenção para cada segmento, principal produto do SGPU em nível de rede, consiste na utilização de uma “árvore de decisão”, com os parâmetros ICP, Idade e VDM, cada um com cinco níveis (ou ramificações). Assim, por exemplo, na primeira linha da tabela acima, um ICP “muito ruim” (ICP = 1), em um pavimento “muito velho” (IDADE = 1) e com volume de tráfego “muito alto” (VDM = 1), a estratégia recomendada é a Reconstrução (ESTRATÉGIA = 6).

A vantagem do método adotado pela Novacap é a flexibilidade para seleção dos fatores e, principalmente, para definição dos níveis que compõem a árvore de decisão. Há total controle por parte da Novacap, que pode incorporar, facilmente, avanços tecnológicos (novas estratégias) e, principalmente, os resultados do programa de manutenção e reabilitação (um pavimento regular hoje pode, no futuro próximo, ser considerado ruim, em virtude do maior rigor que será estabelecido).

Com base nos resultados gerados pelo sistema, é gerada uma série de dados, indicadores e mapas que permitem realizar diversas análises, com quantitativos e valores estimados. As informações geradas a seguir são com base nas vias priorizadas pelo SGPU, somente de domínio da Novacap, que foram avaliadas na implantação do sistema, em um total de 73.550 segmentos.

Os resultados podem ser observados de acordo com a extensão, a área e a necessidade de investimentos necessários para manutenção das vias do DF. Pode-se observar na Tabela 5.4 quais são as necessidades para cada uma das 30 Regiões Administrativas do DF.

Na primeira coluna está a Região Administrativa – RA, numerada de 1 até 30. Na segunda coluna está o nome da RA.

Na terceira coluna é apresentado o valor estimado em reais para cada RA e, na coluna seguinte, quanto esse valor representa em percentual. Na quinta coluna está o número de segmentos de pista atingidos em cada RA, independente do tipo de M&R, inclusive NF.

Em seguida está o comprimento do segmento e, ao lado, a extensão considerando mais de uma faixa no mesmo segmento de pista.

Na última coluna está a área do segmento em km². Brasília é a RA com maior área, com 6,98 km², e, também, a que representa a maior porcentagem de investimento necessário, com 30,92 % do total. O total de investimentos necessário para todo Distrito Federal era de R\$565,7 milhões em 2012.

Tabela 5.4: Necessidades de investimentos para todo o Distrito Federal. Fonte: Novacap.

R A	Região Administrativa	Custo Estimado	% Custos	Segmentos M&R	Extensão Linear Km	Extensão Total Faixas Km	Área Km²
1	Brasília	174.924.296,58	30,92%	10.455	842,16	1.874,89	6,98
2	Gama	26.252.269,58	4,64%	4.214	314,33	635,21	2,35
3	Taguatinga	67.809.822,57	11,99%	4.989	439,18	908,78	3,46
4	Brazlândia	7.087.206,07	1,25%	1.495	114,85	229,59	0,87
5	Sobradinho II	11.280.516,29	1,99%	1.663	155,64	311,74	1,20
6	Planaltina	13.000.926,90	2,30%	4.434	394,99	790,92	2,94
7	Paranoá	4.765.363,34	0,84%	1.127	76,57	152,58	0,56
8	Núcleo Bandeirante	5.327.086,60	0,94%	818	53,94	108,36	0,41
9	Ceilândia	57.760.590,14	10,21%	6.613	602,86	1.216,59	4,53
10	Guará	25.320.983,89	4,48%	2.791	201,83	430,64	1,58
11	Cruzeiro	8.682.827,21	1,53%	933	68,32	139,79	0,55
12	Samambaia	22.838.514,64	4,04%	7.496	539,02	1.094,33	4,11
13	Santa Maria	8.632.155,56	1,53%	3.955	291,77	583,68	2,14
14	São Sebastião	5.390.435,92	0,95%	2.059	149,36	295,56	1,08
15	Recanto das Emas	6.418.054,09	1,13%	4.359	272,83	545,73	2,05
16	Lago Sul	25.241.211,22	4,46%	1.395	200,73	409,08	1,54
17	Riacho Fundo	4.611.418,41	0,82%	748	65,42	130,84	0,49
18	Lago Norte	17.934.532,80	3,17%	1.108	149,41	297,28	1,12
19	Candangolândia	2.028.097,63	0,36%	334	28,30	56,76	0,21
20	Águas Claras	9.479.994,98	1,68%	1.377	114,80	236,30	0,88
21	Riacho Fundo II	3.273.420,72	0,58%	1.619	118,48	237,46	0,89
22	Sudoeste/ Octogonal	8.029.807,56	1,42%	1.086	76,45	160,12	0,60
23	Varjão	367.600,30	0,06%	220	13,94	27,81	0,10
24	Park Way	8.050.241,93	1,42%	2.654	145,87	283,26	1,04
25	Scia/Estrutural	1.497.843,37	0,26%	554	37,26	75,42	0,28
26	Sobradinho	7.140.944,21	1,26%	1.242	116,08	231,12	0,86
27	Itapoã	595.304,76	0,11%	750	64,72	130,39	0,49
28	Jardim Botânico	2.375.262,74	0,42%	544	58,96	118,03	0,44
29	Sia	16.479.628,50	2,91%	1.478	118,58	277,69	1,00
30	Vicente Pires	13.101.202,33	2,32%	1.040	86,01	168,20	0,65
TOTAL		565.697.560,84		73.550	5.912,67	12.158,13	45,44

Na Figura 5.12 pode-se observar a quantidade de vias em cada estado de condição. Mais de 50% está em condição boa e pouco menos da metade em condição regular, com poucos segmentos em condição muito boa, ruim ou muito ruim.

Figura 5.12: porcentagem de vias em cada estado de condição. Fonte: Novacap.

A Figura 5.13 e a Tabela 5.5 apresentam as ocorrências de cada tipo de classe hierárquica das vias do Distrito Federal.

As vias locais são maioria, com 42.635 segmentos, que totalizam 3.693km, 62,46% do total.

As coletoras são 17,95 % do total, com 16.152 segmentos e extensão de 1.061km. As arteriais representam 19,58% das vias, com 14.749 segmentos e 1.157 km de extensão. As rodovias são 0,01 % do total, com 4 segmentos e 0,3 km de extensão.

Em relação aos custos para as atividades de M&R, as vias arteriais, mesmo sem ter a maior extensão, representam 42,94% dos investimentos necessários, as locais 38,67% e as coletoras 18,37%. As rodovias representam 0,01% das necessidades de investimento.

Figura 5.13: Distribuição de classes hierárquicas das vias do DF. Fonte: Novacap.

Tabela 5.5: Classes hierárquicas e custos de manutenção. Fonte: Novacap.

Hierarquia	Segmentos	Custos	Extensão	Extensão	Percentual dos Custos
		Estimados (R\$)	Vias (Km)	Faixas (Km)	
Rodovias	4	70.025,57	0,30	0,53	0,01%
Vias Arteriais	14.749	242.938.429,79	1.157,80	2.640,24	42,94%
Vias Coletoras	16.162	103.919.434,83	1.061,55	2.142,91	18,37%
Vias Locais	42.635	218.769.670,65	3.693,02	7.374,44	38,67%
TOTAIS	73.550	565.697.560,84	5.912,67	12.158,13	

Com base nos resultados gerados pela priorização, é possível agrupar e quantificar os dados utilizando somente as vias priorizadas, gerando dados analíticos, com estimativa de custos para cada estado de condição, conforme faixa de ICP.

Na Tabela 5.6 são apresentados os valores de investimento necessário para cada faixa de ICP. Os valores maiores são para os segmentos cuja condição é regular ou boa, com R\$542,7 milhões necessários, se somados.

As vias em condição regular, apesar de serem menos segmentos e representarem uma extensão menor do que as vias em condição boa, as necessidades de investimentos são desproporcionais. Para as vias em condição boa, são necessários R\$118,1 milhões para a manutenção de 3.122,81 km de vias. As vias em condição regular necessitam de investimentos de R\$ 424,7 milhões para uma extensão de 2.596,42 km. Essa é mais uma evidência de que vias mantidas em boas condições e que recebem manutenção nos estágios iniciais de deterioração necessitam de menos investimentos do que vias em estágio avançado de deterioração.

Deve-se destacar que a flexibilidade do SGPU da Novacap permite que os intervalos de classificação de condição do segmento (Muito Ruim a Muito Bom) sejam alterados, podendo ocorrer situações em que mesmo para um pavimento muito bom seja prevista, em função de algum defeito identificado ou em razão da idade e /ou volume de tráfego, alguma intervenção, geralmente bem menos onerosa (manutenção corretiva localizada, na maioria das vezes), o que se confirma, pois 2291 segmentos muito bons representam pouco mais de 10% dos valores necessários para 300 segmentos ruins, numa relação de custos por segmento em torno de 1:60.

Tabela 5.6: Investimentos necessários por faixa de ICP. Fonte: Novacap.

Faixa de ICP	Segmentos	Custos Estimados (R\$)	Extensão Vias (Km)	Extensão Faixas (Km)
Muito Ruim	20	1.274.466,71	1,88	3,65874
Ruim	300	19.157.112,29	37,06	73,92584
Regular	25893	424.699.735,74	2.596,42	5407,11242
Bom	45046	118.081.945,56	3.122,81	6362,19112
Muito Bom	2291	2.484.300,54	154,48	311,24573
TOTAIS	73.550	565.697.560,84	5.912,67	12.158,13

Para o SGPU ser mais completo, além de estimar as necessidades de investimentos, também distribui os recursos ao longo dos anos segundo a disponibilidade orçamentária. Para o caso do Distrito Federal, mediante apresentação de relatório com base no SGPU e proposta racional de manutenção viária, a Novacap recebeu o

financiamento necessário para realizar as obras. As obras tiveram aporte de R\$300,0 milhões por ano. Essa receita foi realizada com o nome de Programa Asfalto Novo, até hoje em vigor. Com base no planejamento de 2012, recursos captados foram divididos para serem aplicados nos segmentos de pista em dois grupos em função do Índice de Prioridade (IP). As obras foram previstas para os anos de 2013 e 2014, conforme Figura 5.14 e Tabela 5.7

Figura 5.14: Faixas de Ano Recomendado para M&R. Fonte: Novacap.

Tabela 5.7: Ano previsto para as obras do Programa Asfalto Novo. Fonte: Novacap.

Ano Recomendado	Segmentos	Custos Estimados (R\$)	Extensão Vias (Km)	Extensão Faixas (Km)	Custo Médio	Índice de Prioridade e Médio
2013	15.202	299.998.154,82	1.282,91	2.887,60	19.734,12	11,13
2014	58.348	265.699.406,02	4.629,76	9.270,52	4.553,70	17,78
TOTAIS	73.550,00	565.697.560,84	5.912,67	12.158,13		
MEDIAS					12.143,91	14,45

Os valores a serem aplicados também são apresentados em função da estratégia sugerida, conforme se observa na Figura 5.15 e Tabela 5.8. A distribuição é bastante

razoável entre as M&R. São R\$200 milhões para manutenção preventiva, que corresponde a 35% das vias. Mais R\$150 milhões para reforço convencional, que corresponde a 9% da extensão, porém, fica evidente a manutenção preventiva é menos onerosa e preserva as vias em melhor condição por mais tempo, conforme já apresentado no capítulo 4, sobre a análise econômica com a amostra de vias de São Carlos. A fresagem com reforço foi a M&R sugerida para apenas 1667 segmentos, porém, consome R\$113 milhões do total. A manutenção corretiva foi indicada para 15% das vias e requer R\$92,6 milhões de investimento.

Quanto mais são analisados os dados, mais evidente é que manter o pavimento em boas condições é mais barato do que deixá-lo se deteriorar e então realizar M&R mais onerosa. As estratégias do SGPU são mais vantajosas para a administração pública, que economiza recursos que seriam destinados para manutenção viária e podem ser aplicados em áreas produtivas e para a população, que percebe as vias em melhor condição.

Figura 5.15: Estratégia Sugerida. Fonte: Novacap.

Tabela 5.8: Distribuição dos investimentos em função das M&R. Fonte: Novacap.

Estratégia Sugerida	Segmentos	Custos Estimados (R\$)	Extensão de Vias (Km)	Extensão de Faixas (Km)	Extensão %
Não Fazer					
Nada	31.074	0,00	2.101,38	4.203,26	35,540%
Manutenção					
Corretiva	12.529	92.638.260,60	928,78	1.875,87	15,708%
Manutenção					
Preventiva	22.050	206.472.257,37	2.121,42	4.345,20	35,879%
Reforço					
Convencional	6.214	151.232.622,33	558,36	1.194,84	9,443%
Reforço com					
Fresagem	1.667	113.101.778,84	199,57	531,09	3,375%
Reconstrução	16	2.252.641,70	3,15	7,88	0,053%

5.2 Dados referentes aos estudos para apoio à decisão para uma licitação de manutenção preventiva e corretiva.

Para garantir melhores preços em licitações para manutenção em vias públicas devido à escala, a Novacap agrupa as diversas Regiões Administrativas – RAs em Lotes. Os Lotes, nessa licitação em estudo, são numerados de 1 a 4, conforme apresentado na Tabela 5.9. Além das RAs que integram cada Lote, é mostrado também o valor médio do ICP Objetivo.

No Lote 1, o valor médio do ICP é de 88,85. Os demais Lotes apresentam valor médio de ICP próximo ao do primeiro. Portanto, apenas com base no valor médio do ICP não é razoável indicar os valores financeiros a serem aplicados em cada Lote.

Foram analisados, com base em uma simulação realizada pelo SGPU e SIG-T, as áreas com necessidade de Manutenção Preventiva - MP e as áreas com necessidade de Manutenção Corretiva – MC.

Os resultados podem ser observados na Tabela 5.10. Pode-se notar que dos 60.832 segmentos de pista analisados, 7.669 estão no Lote 4, o que representa 715.122,72 m lineares de extensão, com uma área de 5.358.568,85 m², que representa 14,29% da área total dos 4 Lotes (foram excluídos os segmentos já beneficiados pelos Programas Asfalto Novo I e II).

No Lote 4, são 3.177.277,12 m² com necessidade de MC e 1.033.930,95 m² de MP. A soma das áreas de MC e MP é 4.211.208,08 m². Essa área corresponde a 19% da área total dos 4 Lotes. Essa é a sugestão da porcentagem do valor total a ser licitado que pode ser destinado ao Lote 4. O mesmo raciocínio se aplica aos demais Lotes.

Tabela 5.9: Divisão do Distrito Federal em lotes e por média de ICP. Fonte: Novacap.

MÉDIA ICP_SE	CIDADES - Lote 1		MÉDIA ICP_SE	CIDADES - Lote 2
88,85	BRASÍLIA CRUZEIRO		89,89	CANDANGOLÂNDIA GAMA NÚCLEO
	JARDIM BOTÂNICO			BANDEIRANTE RECANTO DAS EMAS
	LAGO NORTE LAGO SUL SÃO SEBASTIÃO SUDOESTE/OCTOGONAL VARJÃO			RIACHO FUNDO I RIACHO FUNDO II SAMAMBAIA SANTA MARIA
MÉDIA ICP_SE	CIDADES - Lote 3		MÉDIA ICP_SE	CIDADES - Lote 4
86,38	ÁGUAS CLARAS BRAZLÂNDIA CEILÂNDIA GUARÁ PARK WAY SCIA/ESTRUTURAL SIA TAGUATINGA VICENTE PIRES		89,34	ITAPOÃ
				PARANOÁ PLANALTINA SOBRADINHO I SOBRADINHO II

Com base nos dados apresentados, sugere-se que o Lote 1 receba 27% do valor total da licitação, que o Lote 2 receba 16 % do valor total da licitação, que o Lote 3 receba 38 % do valor da licitação e que o Lote 4 receba 19 % do valor total da licitação.

Na Tabela 5.10 são apresentados extensões, áreas, e custos para cada lote em função da M&R mais adequada ser MC ou MP. Nesse trabalho, apenas para ilustrar, são atribuídos valores de referência de preços unitários dos serviços de manutenção preventiva e manutenção corretiva. São necessário R\$279,9 milhões.

Tabela 5.10: Áreas e custos de MP e MC para todo o Distrito Federal. Fonte: Novacap.

	LOTES			
	1	2	3	4
Total de segmentos	12.090,0	20.568,0	20.505,0	7.669,0
Soma da extensão dos segmentos (km)	1.119.785,2	1.449.628,3	1.668.377,0	715.122,7
Soma das áreas dos segmentos (m ²)	8.571.128,1	10.868.574,9	12.693.067,0	5.358.568,8
% da área total (m ²)	22,86	28,99	33,86	14,29
Área com necessidade de MC (m ²)	4.075.569,55	1.766.278,09	4.450.837,19	3.177.277,12
Área com necessidade de MP (m ²)	2.045.616,14	1.967.193,06	4.186.779,05	1.033.930,95
Soma das áreas MC + MP (m ²)	6.121.185,69	3.733.471,15	8.637.616,23	4.211.208,08
Preço Unitário de MC (R\$/m ²)	35,00	35,00	35,00	35,00
Preço Unitário de MP (R\$/m ²)	15,00	15,00	15,00	15,00
Preço Total de MC (R\$ x m ²) – apenas 30% da área recebe a MC	42.793.480,28	18.545.919,95	46.733.790,50	33.361.409,76
Preço Total de MP (R\$ x m ²)	30.684.242,10	29.507.895,90	62.801.685,75	15.508.964,25
Preço Total por Lote (R\$)	73.477.722,38	48.053.815,85	109.535.476,25	48.870.374,01
Total necessário para todos os lotes	R\$ 279.937.388,48			
Sugestão SGPU para distribuição (em %) do valor (em R\$) total disponível	27	16	38	19

Ainda em relação à Tabela 5.10, é importante esclarecer que para fins de gerência de pavimentos, uma via não deve ter mais do que 30% de sua área com remendos.

Portanto, considerando que a Manutenção Corretiva – MC é a realização de remendos, a área a ser multiplicada pelo preço unitário para se obter o valor total – em R\$ da MC para cada Lote é o resultado da área total de MC de cada lote multiplicado por 30%, que é a área que de fato poderá receber a MC. Por exemplo, para o Lote 1, a área total com necessidade de MC é de 4.075.569,55 m², porém para efeito de estimativa de custos, considera-se que apenas 30% receberá uma MC. No caso do Lote 1, tem-se que:

$$4.075.569,55 \text{ m}^2 \times 30\% = 1.222.670,87 \text{ m}^2 \text{ (área que de fato poderá receber MC).}$$

$$1.222.670,87 \text{ m}^2 \times \text{R\$}35,00/\text{m}^2 = \text{R\$}42.793.480,28 \text{ (valor total estimado de MC para o Lote 1).}$$

O mesmo raciocínio vale para os demais lotes. Essa consideração de que apenas 30% da área de um segmento de pista pode receber MC é porque além desse percentual de área, admite-se que o segmento de pista já não mais atende às necessidades e que a alternativa mais adequada de M&R é um Reparo Funcional ou Reparo Estrutural, a depender de mais detalhes da condição da estrutura do pavimento.

O valor total do investimento necessário em manutenção preventiva e corretiva para todo o Distrito Federal é da ordem de R\$560 milhões de reais.

A fim de ilustrar melhor os resultados encontrados são apresentados graficamente e de maneira individualizada para alguns itens da Tabela 5.10.

As Figura 5.16 até Figura 5.23 estão dispostas na seguinte sequência:

- Figura 5.16 – quantidade total de segmentos em cada lote.
- Figura 5.17 – soma das extensões dos segmentos de cada lote.
- Figura 5.18 – soma das áreas dos segmentos de cada lote.
- Figura 5.19 – porcentagem que cada lote representa em relação à soma das áreas dos quatro lotes.

- Figura 5.20 – área, por lote, em metros quadrados, com necessidade de Manutenção Corretiva – MC.
- Figura 5.21 – área, por lote, em metros quadrados, com necessidade de Manutenção Preventiva – MP.
- Figura 5.22 – soma das áreas, por lote, em metros quadrados, com necessidade de MC ou MP.
- Figura 5.23 – porcentagem da receita total em Reais - R\$ a ser destinada para cada lote.

Na Figura 5.16, nota-se que os lotes 2 e 3 tem aproximadamente vinte mil segmentos, o lote 1 tem pouco mais de 12.000,00 segmentos e o lote quatro tem quase 8.000,00 segmentos.

Na Figura 5.17 mantém-se a ordem entre os lotes, com pouco mais de 1600 km de extensão no lote 3 e, com menor extensão, o lote 4, com aproximadamente 715 km.

Figura 5.16: total de segmentos por lote.. Fonte: Novacap.

Figura 5.17: extensão total dos segmentos por lote. Fonte: Novacap.

Na Figura 5.18, o lote 3 apresenta a maior área com mais de 12 milhões de km^2 e o lote 4, o menor dos quatro, apresenta pouco mais de 5 milhões de km^2 . A Figura 5.19 apresenta a porcentagem que cada lote representa em relação à área total dos quatro lotes. O lote 4 tem 33,86% da soma das áreas e o lote 4, o menor, possui 14,29 % da área total dos quatro lotes.

Figura 5.18: área total dos segmentos por lote. Fonte: Novacap.

Figura 5.19: porcentagem da área total por lote. Fonte: Novacap.

Na Figura 5.20 pode-se notar que o lote 3 é o que mais necessita de MC, com área de quase 4,5 milhões de metros quadrados. O lote com menor área cuja necessidade é MC é o lote 2, com 1,7 milhões de metros quadrados. A Figura 5.21 mostra o lote 3 como aquele que mais necessita de MP, com uma área de 4,18 milhões de metros quadrados. O lote 4 é o que menos necessita de MP, com uma área de 1,0 milhão de metros quadrados.

Figura 5.20: área total com necessidade de MC por lote (deve ser multiplicado por 30% para estimativa orçamentária). Fonte: Novacap.

Figura 5.21: área total com necessidade de MP por lote. Fonte: Novacap.

Pela soma das áreas com necessidade de MC e MP, conforme a Figura 5.22, nota-se que o lote 4 possui 8,6 milhões de metros quadrados de área a ser recuperada e o lote 2, que tem a menor necessidade de área a ser recuperada, apresenta 3,7 milhões de metros quadrados. Na Figura 5.23 é apresentada a sugestão do SGPU para a destinação da receita total a ser distribuída para os 4 lotes e a maior porcentagem pode ser para o lote 4, na quantidade de 38 %, e a menor porcentagem pode ser para o lote 2, na quantidade de 16%.

Figura 5.22: área total com necessidade de MC + MP por lote. Fonte: Novacap.

Figura 5.23: porcentagem da receita total a ser destinada para cada lote. Fonte: Novacap.

Com base na análise dos resultados apresentados pelo SGPU recomenda-se que os recursos disponíveis sejam aplicados em cada lote nas proporções conforme apresentado na Figura 5.23.

5.3 Estudo de caso – Região Administrativa Brasília - Plano Piloto

Nesse estudo de caso são apresentados dados transformados em informações por meio do Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos - SGPU assistido por Sistema de Informações Geográficas com aplicações em Transportes – SIG - T. É notória a facilidade de visualização e interpretação dos dados quando apresentados em forma de mapas temáticos, como a seguir.

Na Figura 5.24 podem ser observadas as diferentes classes funcionais (divisão hierárquica) das vias da Região Administrativa Brasília – Plano Piloto. As classes funcionais são: a) Arteriais, que são vias principais de maior volume de tráfego e onde passa a maior parte dos veículos pesados; b) Coletoras, que são vias de ligação entre as Arteriais e as Locais e c) Locais, que são vias de acesso às áreas residenciais, de menor volume de tráfego.

Figura 5.24: Divisão hierárquica das vias em Brasília, Plano Piloto. Fonte: Novacap.

Para os gestores das vias públicas é importante entender quais os defeitos estão presentes nas vias, quais as notas de condição das vias e assim definir como distribuir os recursos disponíveis de modo eficiente com vistas a manter a malha viária na melhor condição possível.

A fim de ilustrar as potencialidades de uso de um SIG-T no processo de auxílio de tomada de decisão, são apresentados mapas temáticos com informações espaciais referentes aos defeitos mais frequentes que são encontrados nas vias do Distrito Federal, separados por classe funcional das vias. Também, são apresentados os Índices de Condição do Pavimento separados por classes funcional das vias.

Muitas vezes os contratos de licitação são específicos para determinado tipo de via, sejam apenas Arteriais, sejam Locais, ou para uma específica Região Administrativa ou, ainda, para um tipo específico de serviço, que pode ser recapeamentos ou manutenções corretivas e preventivas. Disso, decorre a importância da informação ser apresentada de modo segmentado a fim de atender mais adequadamente aos diferentes tipos de licitações que podem ocorrer dentro da administração pública.

Para melhor ilustrar informações segmentadas e apresentadas espacialmente, a Figura 5.25 à Figura 5.27 mostram o defeito trincas por fadiga separado por classe funcional. Na Figura 5.25 são apresentados os locais em que foram encontradas trincas por fadiga em vias arteriais. Nessas localidades a Manutenção mais adequada pode ser reparos localizados, ou seja, Manutenção Corretiva – MC. Na Figura 5.26 estão localizadas as necessidades de MC das vias Coletoras de Brasília – Plano Piloto.

Na Figura 5.27 são mostradas as localidades, em vias Locais de Brasília – Plano Piloto, com trincas por fadiga. Nessas localidades com trincas por fadiga, a manutenção mais provável é a Manutenção Corretiva – MC, desde que a área com necessidade de MC não ultrapasse 30% da área do segmento de pista.

Figura 5.25: Vias Arteriais com Trincas por Fadiga em Brasília, Plano Piloto. Fonte: Novacap.

Figura 5.26: Vias Coletoras com Trincas por Fadiga em Brasília, Plano Piloto. Fonte: Novacap.

Figura 5.27: Vias Locais com Trincas por Fadiga em Brasília, Plano Piloto. Fonte: Novacap.

Com a apresentação dos dados transformados em informação espacial é mais fácil para os gestores entenderem os problemas, as soluções possíveis e tomarem a decisão com a maior chance de acerto possível.

Ainda no sentido de ilustrar melhor como os dados espaciais auxiliam na tomada de decisão, são apresentados nas Figura 5.28 até Figura 5.30 um dos defeitos mais graves que podem surgir em uma via de circulação de veículo, a panela (ou buraco). Esse defeito pode ser responsável por acidentes fatais, principalmente para motos. Mesmo que não cause acidente fatal, os buracos diminuem a velocidade média de viagem, causam danos nas rodas e suspensão dos veículos e ainda permitem a entrada de água nas camadas de base e subleito com perda da capacidade de suporte das camadas granulares. Como consequência, a estrutura chega mais rapidamente à ruína. A solução para os buracos é um remendo, porém bem executado, com recorte da área a ser tratada, imprimação e mistura asfáltica à quente.

Nas vias da Região Administrativa - RA Brasília – Plano Piloto as panelas ou buracos estão presentes em todas as classes funcionais de vias, sejam arteriais, Coletoras ou Locais. Isso evidencia que independentemente do tráfego, todos os tipos de vias merecem especial atenção para evitar que esse defeito surja. Os gestores deveriam se preocupar mais com atividades preventivas como capas selantes ou mesmo ações corretivas como selar trincas, a fim de impedir a infiltração de água na estrutura e bombeamento dos finos. Ações simples e de menor custo se comparadas aos recapeamentos podem resultar em um pavimento de vida útil mais longa e menor custo de manutenção.

Pode-se notar que as vias Arteriais e Coletoras têm poucas panelas se comparado às vias Locais. Uma possível explicação é o programa Asfalto Novo que recuperou muitas vias Arteriais e Coletoras. Se for de interesse da administração pública, também é possível gerar um mapa temático com as panelas ou buracos presentes em todas as vias, independentemente da classe funcional, conforme a Figura 5.31. Ideal para ações corretivas na mesma RA.

Figura 5.28: Vias Arteriais com Panelas (buracos) em Brasília, Plano Piloto. Fonte: Novacap.

Figura 5.29: Vias Coletoras com Panelas (buracos) em Brasília, Plano Piloto. Fonte: Novacap.

Figura 5.30: Vias Locais com Panelas (buracos) em Brasília, Plano Piloto. Fonte: Novacap.

Figura 5.31: Todas as Vias com Painelas (buracos) em Brasília, Plano Piloto. Fonte: Novacap.

A representação espacial dos dados vai além dos locais com presença de defeitos. É possível, também, apresentar outros dados como informação espacial para auxiliar a tomada de decisão dos gestores.

Por exemplo, nas Figuras 5.32 até Figura 5.34 são apresentados o Índice de Condição do Pavimento Subjetivo do Avaliador – ICP_AV. Para obter esse índice, o avaliador percorre toda a via e define uma nota entre 0 a 100, sendo 100 a nota para um pavimento em condição muito boa e 0 para um segmento em condição muito ruim.

Com base no ICP, na idade da via e no volume de tráfego são definidas as estratégias de Manutenção e Reabilitação – M&R mais adequada para cada combinação.

O volume de tráfego e a idade da via não se alteram com frequência. Portanto, a necessidade de atualizar o banco de dados é primordial para as notas de ICP.

Nas vias Arteriais e Coletoras pode-se notar que a maioria dos segmentos de pista está na condição boa ou muito boa. Isso pode ser resultado do Programa Asfalto Novo que realizou manutenções em vias principais do Plano Piloto.

Já as vias Locais apresentam maior quantidade de segmentos de pista nas condições regular e ruim. Ainda sim, a maioria dos segmentos de pista está em condição boa.

Os mapas temáticos facilitam a identificação de locais em pior condição e, também, auxiliam a ter uma visão geral da condição de uma determinada classe funcional de via de uma específica Região Administrativa.

Um Sistema de Informação Geográfica com Aplicação em Transportes – SIG -T é uma poderosa ferramenta de análise de diferentes cenários e interpretação de dados.

Figura 5.32: Vias Arteriais, ICP_AV no Plano Piloto, Brasília. Fonte: Novacap.

Figura 5.33: Vias Coletoras, ICP_AV no Plano Piloto, Brasília. Fonte: Novacap.

Figura 5.34: Vias Locais, ICP_AV no Plano Piloto, Brasília. Fonte: Novacap.

Uma vez definidos em inventário a idade das vias e seu volume de tráfego, basta conhecer o ICP para que a árvore de decisões do SGPU indique a M&R mais adequada.

Para ilustrar as atividades de manutenção e reabilitação indicadas para Brasília são apresentadas nas Figuras 5.35 a Figura 5.37 as opções de M&R sugeridas pelo sistema para a manutenção das vias.

Nas vias arteriais é mais recomendado não fazer nada, ou seja, ação postergada, o que indica condição muito boa das vias. A alternativa de M&R mais indicada às vias arteriais de Brasília é a manutenção preventiva, o que indica adequada capacidade estrutural das vias, com necessidade apenas de conservação de rotina. Essa é a época correta de se realizar tais atividades de M&R, antes que a serventia diminua e seja necessário uma M&R mais onerosa ao estado.

Além de operações tapa-buracos deve-se primar por atividades de selar trincas, antes que estas evoluam para buracos e danifiquem toda a estrutura da via. Nas vias coletoras ocorre o mesmo, as M&R mais indicadas são não fazer nada e manutenção preventiva, com poucos segmentos de pista com Manutenção Corretiva e raros com reparo funcional ou estrutural. Nesses casos, também, pode-se atribuir ao programa asfalto novo a condição, em geral, boa e muito boa das vias.

As via locais não seguem o mesmo padrão das vias arteriais e coletoras. As indicações de M&R são mais onerosas, com necessidades amplas de reparo funcional e reparo estrutural. Isso indica que o pavimento já está em avançado estado de deterioração e que caso não sejam realizadas ações de grande investimento por parte da administração pública, os riscos para os usuários e os custos de operação dos veículos são elevados.

Há a necessidade de um programa amplo de revitalização das vias locais de Brasília, com vistas a preservar o patrimônio da população e garantir adequadas condições de trafegabilidade aos usuários dessas vias.

Figura 5.35: Vias Arteriais, sugestões de M&R no Plano Piloto, Brasília. Fonte: Novacap.

Figura 5.36: Vias Coletoras, sugestões de M&R no Plano Piloto, Brasília. Fonte: Novacap.

Figura 5.37: Vias Locais, sugestões de M&R no Plano Piloto, Brasília. Fonte: Novacap.

5.4 Efeitos do Programa Asfalto Novo nas Vias do Distrito Federal

O Programa Asfalto Novo, em vigência desde 2013 até hoje, é responsável por grandes investimentos em manutenção viária no Distrito Federal.

Conforme já apresentado, com o relatório no padrão do SGPU foi obtido financiamento de R\$565 milhões junto ao BID. Os resultados desse investimento podem ser observados nas Tabelas 5.11, Tabela 5.12 e Tabela 5.13.

A maior parte dos recursos foi investida nos anos de 2013 e 2014, conforme planejado pelo SGPU.

A Tabela 5.11 apresenta os resultados para as vias arteriais, RA por RA. A Tabela 5.12 trás os resultados para as vias coletoras e a Tabela 5.13 os resultados para as vias locais.

São apresentados apenas os 5 defeitos mais frequentes de cada classe funcional. Para as vias arteriais houve três ciclos de avaliações, um em 2011, outro em 2014 e o último em 2015.

Para as vias coletoras e locais houve apenas dois ciclos de avaliações, um em 2010 e outro em 2014. As vias locais foram avaliadas por duas vezes, uma em 2011 e outra em 2015.

Conforme a Tabela 5.11, as vias arteriais são maioria na RA Brasília, com 2.605 segmentos. A segunda maior RA em segmentos de vias arteriais é Ceilândia, com 1.607.

Nas demais RAs, nenhuma possui mais do que 1.000 segmentos. A análise dos 5 defeitos apresentados permite verificar que entre 2011 e 2014, período em que foram realizadas a maior parte das manutenções do Programa Asfalto Novo, houve diminuição do número de segmentos com presença de defeitos. Brasília, por exemplo, tinha 2.065 segmentos de pista com trincas por fadiga.

Em 2014 eram apenas 371 segmentos com trincas por fadiga. Esta foi a oportunidade de se realizar atividades corretivas nas trincas por fadiga antes que evoluíssem para panelas, porém, não foi o que ocorreu.

Os dados mostram que em 2015 havia 634 segmentos com trincas por fadiga, o que significa que além de não serem tratados os segmentos que já possuíam esse defeito, ainda surgiram novos segmentos com trincas por fadiga.

Ao contrário do defeito panelas, que diminuiu de 257 segmentos em 2011 para 87 em 2014 e diminuiu ainda mais, para 70 segmentos em 2015.

Em contrapartida, como resultado de uma estratégia de tapa-buracos e recapeamentos, o número de segmentos com remendos, diminuiu de 2011, com 1.624 segmentos, para 217 segmentos em 2014, porém, em 2015 já eram 319 segmentos.

O mesmo padrão se observa na Tabela 5.12, em que as vias coletoras também apresentaram diminuição dos segmentos com defeitos entre 2010 e 2014.

Brasília, por exemplo, apresentava 1.381 segmentos com trincas por fadiga e, em 2014 apenas 356. As panelas diminuíram de 124 para 50 segmentos.

Os remendos, que eram 900 em 2010, estavam presentes em apenas 185 em 2014. Para as vias coletoras, por não haver uma terceira avaliação, não foi possível verificar o quão rápido os defeitos surgiram novamente.

Para as vias locais, conforme Tabela 5.13, a diminuição da quantidade de segmentos com defeitos não é tão grande quanto nas vias arteriais e coletoras, pois o Programa Asfalto Novo não beneficiou diretamente as vias locais, que seriam alvo da terceira etapa do programa, que ainda não está licitado.

Tabela 5.11: variação de ocorrência de defeitos antes e após as manutenções do Programa Asfalto Novo. Vias Arteriais. Fonte: Novacap.

RA	2011			2014			2015			2011			2014			2015			2011			2014			2015		
	Segm.	Trincas		Fadiga		Remendos		Pav.		Deformação		Perm.		Desgaste													
1 - Brasília	2.605	2.065	371	634	1.624,0	217	319	257	87	70	10	122	11	2577	2390	2585											
2 - Gama	875	350	220	322	279,0	155	200	91	68	127	40	6	7	871	871	872											
3 - Taguatinga	956	561	381	492	498,0	217	348	172	168	153	22	49	10	953	927	946											
4 - Brazlândia	425	203	76	90	217,0	46	57	48	13	22	12	1		424	422	425											
5 - Sobradinho I	429	240	134	230	184,0	82	136	15	29	53	6	3		427	384	427											
6 - Planaltina	969	271	58	210	380,0	81	185	62	37	70	13	2	7	957	963	965											
7 -Paranoá	201	108	16	61	118,0	3	28	28		13	2			201	200	200											
8 - N. Bandeirante	295	191	1	25	205,0		9	38		12	14	1	2	291	156	295											
9 - Ceilândia	1.607	731	262	687	727,0	222	482	159	132	227	16	27	33	1597	1531	1598											
10 - Guará	430	220	36	172	211,0	11	33	53	10	55	15	5	5	407	429	425											
11 - Cruzeiro	49	33	16	24	31,0	19	26	7	4	3	5	4		39	48	48											
12 - Samambaia	695	306	86	180	318,0	56	82	105	35	43	51	13	6	683	686	690											
13 - Santa Maria	500	116	12	100	138,0	29	92	33	16	32	4	1	1	498	495	493											
14 - São Sebastião	390	37	19	129	40,0	22	74	10	15	11	13	9		387	386	390											
15 - Recanto das Emas	555	134	72	147	132,0	36	93	32	40	51	8	3	5	555	553	550											
16 - Lago Sul	52	11	2	33	13,0	2	17	1		2				52	46	52											
17 - Riacho Fundo I	145	51	8	28	78,0	6	1	8	1		4			145	139	145											
18 - Lago Sul																											
19 - Candangolândia	96	43		6	26,0		3	7		5	8			96	95	96											
20 - Águas Claras	451	159	187	117	176,0	99	128	46	57	54	12	31	2	449	448	442											
21 - Riacho Fundo II	372	79	12	69	68,0	1	37	17	15	21	7		3	372	362	371											
22 - Sudoeste/Octogonal	306	185	91	49	224,0	80	56	20	14	4	29	24		261	294	301											
23 - Varjão																											
24 - Park Way																											
25 - SCIA/Estrutural																											
26 - Sobradinho II	244	55	27	64	101,0	45	72	38	36	29	6	3	1	243	212	243											
27 - Jardim Botânico																											
28 - Itapoã	250	29	16	62	56,0	10	30	11	2	35	2			245	250	244											
29 - SIA	431	246	128	75	234,0	107	60	29	30	38	5	40	11	409	298	430											

Contudo, é possível notar que a RA Brasília teve o número de segmentos com trincas por fadiga e com remendos diminuído de 2011 para 2015. As trincas por fadiga diminuíram de 3.888 para 2.610 e os remendos de 2.947 para 1.551.

Tabela 5.12: variação de ocorrência de defeitos antes e após as manutenções do Programa Asfalto Novo. Vias Coletoras. Fonte: Novacap.

RA	2010		2014		2010		2014		2010		2014	
	Segm.	Trinca por Fadiga	Remendos	Panela	Deform. Perm.	Desgaste						
1 - Brasília	1967	1381	356	900	185	124	50	13	7	1964	1845	
2 - Gama	866	349	11	494	143	164	63	19		859	864	
3 - Taguatinga	1105	755	203	844	317	331	207	11	5	1094	1085	
4 - Brazlândia	313	112	6	222	30	98	11	6		300	302	
5 - Sobradinho I	214	106	66	134	74	23	36	3		213	214	
6 - Planaltina	1162	242	75	430	185	108	109	30	4	1124	1159	
7 - Paranoá	173	90	13	138	11	48	12	1	1	173	172	
8 - N. Bandeirante	232	118	62	113	29	28	20	15	5	228	231	
9 - Ceilândia	2418	768	405	1361	563	522	559	8	12	2339	2346	
10 - Guará	656	241	117	296	93	91	43	12	9	642	647	
11 - Cruzeiro	239	145	81	135	52	22	6	14		151	239	
12 - Samambaia	1203	282	70	640	174	193	151	49	4	1154	1153	
13 - Santa Maria	821	171	12	360	39	115	41	15	2	760	794	
14 - São Sebastião	168	30	24	79	39	32	19	4	1	166	166	
15 - Recanto das Emas	585	170	4	287	61	91	31	18		574	585	
16 - Lago Sul	143	60	27	60	16	5	2	3	2	142	89	
17 - Riacho Fundo I	131	31	5	57	4	14	5	3	1	131	131	
18 - Lago Sul	364	144	98	187	61	29	8	4	4	363	349	
19 - Candangolândia	51	24	1	25	1	3	1	4		51	32	
20 - Águas Claras	430	178	75	200	70	96	55	13	2	424	430	
21 - Riacho Fundo II	313	27	4	101	38	27	14	4		310	313	
22 - Sudoeste/Octogonal	91	44	5	54	3	6		4	1	69	91	
23 - Varjão												
24 - Park Way	714	170	121	210	126	29	29	4	5	713	714	
25 - SCIA/Estrutural	234	12	3	22	8	23	7		1	111	140	
26 - Sobradinho II	293	30	10	124	89	52	28	4		225	235	
27 - Jardim Botânico												
28 - Itapoã	101	21	1	23	7	7	3	1		76	87	
29 - SIA	345	218	146	229	118	23	21	1	14	336	339	
30 - Vicente Pires	311	196	92	171	102	131	36	2	9	308	311	

As painéis aumentaram de 393 para 496 no mesmo período. Outras RAs, como Gama, Sobradinho I, Planaltina, Santa Maria e Sobradinho II tiveram aumento no número de segmentos com trincas por fadiga e as demais RAs tiveram diminuição da presença desse defeito. A presença de defeitos varia aleatoriamente nas vias locais. Conforme previsto, foram realizadas avaliações com filmagens, porém, houve dificuldade para identificar em escritório os segmentos de pista. Essa tecnologia precisa de melhorias, porém, é uma potencial evolução para avaliações de campo.

Tabela 5.13: variação de ocorrência de defeitos antes e após as manutenções do Programa Asfalto Novo. Vias Locais. Fonte: Novacap.

RA	2011		2015		2011		2015		2011		2015	
	Segm.	Trinca por Fadiga	Remendos	Panela	Deform.	Perm.	Desgaste					
1 - Brasília	5260	3888	2610	2947	1551	393	496	51	92	5121	4889	
2 - Gama	2348	835	918	1598	1747	786	1170	33	5	2222	2219	
3 - Taguatinga	2460	1615	1154	1930	1587	846	1130	23	11	2312	2292	
4 - Brazlândia	831	259	53	465	303	246	146	24	3	748	785	
5 - Sobradinho I	1059	460	494	614	506	192	237	26	3	981	1030	
6 - Planaltina	1848	289	385	822	901	196	295	40	14	1686	1793	
7 - Paranoá	702	251	160	500	324	191	114	13	65	692	693	
8 - N. Bandeirante	280	151	82	183	86	59	63	7	1	259	255	
9 - Ceilândia	3551	1167	1043	1564	1771	1137	1223	46	20	2392	2443	
10 - Guará	1904	869	497	1113	418	399	330	71	39	1469	1500	
11 - Cruzeiro	640	337	275	437	261	154	82	42	1	371	635	
12 - Samambaia	5217	964	1201	2653	2902	881	1317	224	26	4961	5044	
13 - Santa Maria	1983	295	450	951	970	241	250	55	6	1886	1894	
14 - São Sebastião	796	309	145	516	346	251	221	46	5	737	756	
15 - Recanto das Emas	3069	398	480	1307	1599	397	713	41	12	3029	3049	
16 - Lago Sul	1034	716	687	781	615	199	158	29	23	994	990	
17 - Riacho Fundo I	394	134	102	266	211	74	67	15	2	389	393	
18 - Lago Sul	486	335	311	413	342	140	72	19	3	480	482	
19 - Candangolândia	185	115	60	144	44	57	55	8		181	179	
20 - Águas Claras	580	188	123	255	102	101	99	22	10	420	433	
21 - Riacho Fundo II	569	80	103	233	247	59	103	17		539	568	
22 - Sudoeste/Octogonal	693	330	118	453	79	96	29	44	5	439	677	
23 - Varjão												
24 - Park Way	63	8		47	42	21				61	62	
25 - SCIA/Estrutural	620	29	12	61	12	18	10	1		269	351	
26 - Sobradinho II	760	231	248	346	306	181	140	44	1	623	630	
27 - Jardim Botânico												
28 - Itapoã	608	22	8	145	65	36	41	9		421	427	
29 - SIA	450	271	112	310	137	52	65	2	7	425	435	

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As conclusões apresentadas neste capítulo são baseadas na análise dos resultados dos dados coletados no Município de São Carlos, no interior do estado de São Paulo. Foram coletados dados em 2003, 2005 e 2007. Foram, também, analisados dados e estudos de caso de acordo com resultados obtidos por meio de avaliações de campo na malha viária do Distrito Federal – DF. No DF foram realizadas avaliações nos anos de 2011, 2014 e 2015. Há, ainda, informações do SGPU de San Antonio, Texas, EUA, como parte do Programa de Doutorado no Exterior – PDSE, realizado em 2013.

Neste capítulo são apresentados, além das conclusões, sugestões para continuação da pesquisa desta tese.

6.1 Conclusões

Com base nos resultados apresentados de toda malha viária de São Carlos em 2003 e, considerando-se o mecanismo de deterioração dos pavimentos flexíveis, em que as trincas por fadiga evoluem em extensão e severidade e se transformam em panelas e que as panelas são tratadas com remendos, constatou-se que em São Carlos quase 40% das vias apresentam problemas estruturais, com elevada extensão da malha viária com trincas por fadiga, que não há manutenção e reabilitação nos estágios iniciais, quando seriam de fato efetivas, restringindo-se aos remendos. Assim, sem haver manutenção preventiva ou corretiva no momento adequado, as trincas por fadiga evoluem para panelas, com aumento dos custos de operação dos veículos e, também, há infiltração da água das chuvas e enfraquecimento de toda estrutura. Em síntese, a estratégia adotada em São Carlos e na maioria das cidades brasileiras conduz a um pavimento em condição ruim, em geral, com excesso de remendos e prejuízos socioeconômicos para toda sociedade.

Dos 5.800 segmentos de pista avaliados em São Carlos em 2003, 65% tiveram nota de ICP Subjetivo maior ou igual a 85. Para o mesmo grupo, o ICP Objetivo teve valor superior ou igual a 85 em 76% dos segmentos, com evidência de que a nota objetiva é, em geral, mais elevada do que a nota subjetiva. Isso pode ser consequência de

uma avaliação de campo que considera muitos defeitos avaliáveis, porém, com alguns deles com baixa frequência de ocorrência, sem dedução de pontos na avaliação objetiva. Dos defeitos avaliáveis na planilha utilizada em São Carlos, 4 deles não aparecem em mais do que 5% das vias, indicando a necessidade de ajuste da nota objetiva, principalmente quanto ao número de defeitos avaliados. A avaliação com cinco defeitos pode ser uma alternativa.

Ainda em relação aos 5.800 segmentos avaliados em 2003, em São Carlos, 3.170 (55%) tiveram como M&R indicada Nada a Fazer - NF, coerente com a quantidade de segmentos cujo ICP é maior ou igual a 85. A quantidade de segmentos com recomendação de manutenção corretiva foi de 1.992, também coerente com a quantidade de segmentos com painelas encontradas nas vias.

A quantidade de segmentos com ICP maior ou igual a 85 sugere que a malha viária ainda está em estágio de deterioração reduzido, com potencial efeito positivo no aumento da vida útil se receber manutenção preventiva, ainda que as administrações municipais não a incluam como estratégia.

Contudo, a avaliação da amostra de 220 segmentos, cujo desempenho foi acompanhado nos anos de 2003, 2005 e 2007, sugere que não foram realizadas as medidas preventivas para postergar a vida útil das vias.

Em 2003, havia 125 segmentos cuja M&R recomendada era nada a fazer, já em 2007 eram apenas 65. Em 2003, apenas 8 segmentos necessitavam de reforço estrutural, mas, em 2007, 50 segmentos necessitavam de reforço estrutural. A quantidade de segmentos com painelas em 2003 era 29 e, em 2005, 53 segmentos apresentavam painelas, um aumento de 83%. Em 2007 caiu para 49 o número de segmentos com painelas, evidência de que foram realizadas operações tapa-buracos quando do surgimento de painelas, e não na forma de manutenção corretiva quando eram trincas. O número de segmentos com o defeito remendos cresce ano a ano na amostra, ainda que a taxas pequenas, com 173 em 2003, 180 em 2005 e 187 em 2007.

Em geral, a condição das vias tem piorado ano a ano, consequência direta do aumento dos pontos deduzidos dos defeitos trincas por fadiga, painelas e remendos. A soma

dos pontos deduzidos do defeito remendo, para toda a amostra, em 2003, foi de 750 pontos. Em 2007, a soma chegou a 1.191 pontos deduzidos. Como o número de segmentos não cresceu tanto no mesmo período, pode-se concluir que houve aumento na extensão e/ou severidade. O mesmo raciocínio se aplica para o defeito painelas, que, apesar de estar presente em 49 segmentos em 2007 e em 53 2005, ainda sim teve o número de pontos deduzidos aumentado de 110 para 119.

Se forem considerados os segmentos de pista que não apresentavam os defeitos trincas por fadiga, painelas e remendos em 2003 pode-se concluir, com base nos resultados, que as trincas por fadiga surgem a uma taxa próxima a 33% a cada biênio e que as painelas surgem a uma taxa próxima a 6% a cada biênio. O defeito remendos surgiu em 41% dos segmentos em dois anos e no biênio seguinte recuou para 37%, por terem recebido recapeamento ou porque o avaliador não identificou o defeito em alguns segmentos.

A avaliação de campo é o ponto de partida para a implantação de um SGPU. Nesta tese, com base nos dados e resultados apresentados da malha viária de São Carlos, pode-se verificar que a quantidade de defeitos avaliáveis com baixa frequência de ocorrência pode comprometer a qualidade da avaliação, com pouca distinção entre segmentos em diferentes estágios de deterioração, pois as notas de ICP (subjetivo e objetivo) raramente são inferiores a 70, em uma escala de 0 até 100. A fim de contribuir para essa questão, foi apresentada planilha para avaliação de campo com apenas 5 defeitos, conforme a literatura sugere e de acordo com a frequência dos defeitos observados na malha viária de São Carlos. Os resultados mostraram que há amplitude mais significativa entre as notas de ICP quando considerados apenas os 5 defeitos mais frequentes.

A avaliação com 5 defeitos apresentou correlação forte com os demais procedimentos de avaliação de campo, o que indica que não houve inversão significativa na organização dos segmentos e, ao mesmo tempo, houve melhor diferenciação entre os segmentos, com maior amplitude entre as notas mais baixas e as notas mais altas.

A avaliação pelo *PCI* também apresentou diferenças entre as notas mais baixas e as notas mais altas, porém, quando a nota de *PCI* é menor do que 20, há pouca

diferenciação entre os segmentos de pista, com notas sempre próximas a 17. O procedimento proposto com 5 defeitos não apresenta essa limitação.

O desvio padrão para as avaliações de 5 defeitos foi 21,24, próximo ao desvio padrão do *PCI*, que foi de 24,19. As avaliações *IA/SHRP* apresentaram desvio padrão de 11,58 e 12,34 para o ICP Objetivo e Subjetivo, respectivamente. Quanto maior o desvio padrão, melhor separados estão os segmentos de pista em função de sua condição, evidenciando que a avaliação com 5 defeitos pode ser mais adequada.

Para a previsão de necessidade orçamentária de uma rede viária é necessário prever a condição das vias. Para isso foi proposto um modelo de previsão de desempenho para pavimentos urbanos com base no Índice de Condição do Pavimento – ICP. Os dados foram organizados a partir das avaliações de 2003, tanto em função do ICP Objetivo como do ICP Subjetivo, não tendo havido diferença significativa.

Como nesta tese buscou-se metodologia que diminua a subjetividade do avaliador, as conclusões apresentadas são com base nos dados organizados pelo ICP Objetivo.

Para a amostra de 220 segmentos de São Carlos, a nota média de ICP Objetivo diminuiu 3,0 pontos a cada biênio. A nota média de ICP Subjetivo diminuiu 1,4 pontos em dois anos. Se for considerado que o máximo de pontos a ser deduzido é 100, pode parecer pouco 3,0 pontos a cada biênio, porém, considerando-se que as notas de ICP Objetivo raramente são inferiores a 70, os 3 pontos representam 10% a cada biênio, isso para os segmentos em boas condições, com ICP igual ou superior a 85.

Para segmentos com ICP inferior a 85 não foi possível elaborar modelo de previsão de desempenho, pois as notas de 2005 são superiores às notas de 2003, por operações tapa-buracos, mais provavelmente, e recapeamento.

Para validação do modelo de previsão de desempenho dos pavimentos urbanos foram aplicados testes estatísticos. Primeiro o teste *t* de *Student*, com confiança de 95%, que avalia médias globais e, após, a correlação, que avalia os dados das séries par a par. Os resultados apontaram que o *t* crítico calculado foi -1,56 para o ICP Objetivo e -0,55 para o ICP Subjetivo. Para ambos, o valor crítico tabelado é 1,97. Portanto,

foram aprovados no teste *t* de *Student*. Quanto à correlação, os valores encontrados foram 0,60 e 0,48 para o ICP Objetivo e ICP Subjetivo, respectivamente.

Com a avaliação das vias e o modelo de previsão de desempenho, pode-se realizar a análise econômica e a simulação de cenários com diferentes estratégias de M&R e definir qual a mais vantajosa para a sociedade ao longo do tempo.

De acordo com os resultados apresentados, para a amostra de segmentos de São Carlos, a manutenção corretiva é a mais onerosa nos anos de 2003 e 2005, porém, em 2007, mesmo a manutenção corretiva sendo necessária em 98 segmentos e com custo estimado em R\$2.669.226,00, nos 49 segmentos de pista que necessitam de reforço estrutural, tem-se necessidade orçamentária de R\$2.976.040,48. Essa é uma evidência de que manter a malha viária em boas condições é sempre mais eficiente do que deixá-la se deteriorar até que seja necessário um reforço ou reconstrução.

As necessidades orçamentárias para a amostra de segmentos de São Carlos passou de R\$2,4 milhões, em 2003, para R\$3,2 milhões em 2005 (aumento de 33,6%) e para R\$5,7 milhões em 2007 (aumento de 65,0% em relação a 2005 e aumento de 132,8% em relação a 2003). São mais evidências de como as atividades de M&R adotadas nas cidades brasileiras (tapa-buracos e recapeamento sem projetos) são ineficazes e apenas permitem os custos de reparo das vias aumentar ano a ano e com taxa cada vez maior.

Com base nos resultados da amostra de segmentos considerando as 3 séries de avaliações de 2003, 2005 e 2007, foi possível inferir uma nota de ICP Objetivo média para cada M&R necessária. Para os segmentos de pista cuja M&R é nada a fazer, a média de ICP Objetivo foi 93. Para manutenção preventiva, a média foi 89. Para os segmentos com necessidade de manutenção corretiva, a média de ICP Objetivo foi 84 e para os segmentos com necessidade de reforço estrutural o ICP médio foi 73. De acordo com esses valores médios de ICP foi possível estimar um valor de ICP Objetivo de transição entre cada M&R. o valor de ICP para transição de nada a fazer para manutenção preventiva foi 91. O valor para a transição de manutenção preventiva para manutenção corretiva foi 87 e o valor de ICP para transição de manutenção corretiva para reforço estrutural foi 78.

Considerando-se as variações de M&R necessárias ao longo dos anos, foi possível inferir uma sequência desde a construção até a necessidade de reforço estrutural. Após 3 anos sem necessidade de manutenção, a via passa por 3 anos com necessidade de manutenção corretiva, até que necessita de reforço estrutural, ou seja, quando o pavimento possui vida útil de 6 anos. Considerando-se dois ciclos de vida do pavimento, com manutenções realizadas conforme o padrão da prefeitura de São Carlos, o custo médio para manutenção de um segmento é de R\$28.848,22 por ano, com um ICP Objetivo médio de 86. Considerando-se, agora, uma manutenção preventiva no ano 4 e que esta aumenta a vida útil em três anos, o mesmo segmento tem custo médio por ano de R\$12.762,19 e o ICP Objetivo médio passa para 90. Pode-se notar que as atividades de manutenção e reabilitação, quando realizadas no momento correto, são mais eficientes, com vantagens para a sociedade toda, pois as vias ficam em melhor condição e os recursos economizados podem ser aplicados em setores chave como infraestrutura, saúde e educação.

Como parte desta tese, foi realizado estágio no exterior, na Universidade do Texas em San Antonio – UTSA. Além da Universidade, houve contato com o SGPU da cidade. De acordo com os resultados obtidos foi possível verificar que em San Antonio há preocupação em selar trincas e realizar atividades de manutenção preventiva, com lama asfáltica ou espuma de asfalto, que aumentam a vida útil dos pavimentos. Além disso, a espessura dos revestimentos é bastante superior ao que se observa nas vias das cidades brasileiras. Em países desenvolvidos não se faz revestimentos mais espessos apenas porque a condição econômica permite, mas sim porque é mais eficiente, conforme relatou o gerente de manutenção de vias de San Antonio. A cidade de San Antonio investe US\$2,0 milhões por ano em avaliações da condição das vias para planejar adequadamente as atividades de manutenção e reabilitação e controla com rigor as manutenções realizadas. Apesar de estar em um país desenvolvido, o mais rico do mundo, a cidade norte-americana de San Antonio utiliza as técnicas, equipamentos e recursos humanos equivalentes ao que há no Brasil, evidenciando a importância dos sistemas de gerência de pavimentos urbanos, principal diferença.

Quando a malha viária é de uma cidade de grande porte, como a capital federal do Brasil, há necessidade de implantação de um SGPU com mais recursos computacionais para a correta gerência das vias. Brasília implantou, em 2009, um

SGPU com base na metodologia *SHRP*. O sistema de cadastro dos dados de inventário e das avaliações de campo é em ambiente *Oracle Spatial*, uma tecnologia moderna para grande banco de dados. De posse dos dados de campo e com a definição de um Índice de Prioridade (IP), o qual se fundamenta em critérios de ICP, Idade das vias e VDM, é possível estimar os investimentos necessários e elaborar relatórios em padrão compatível com o exigido pelos organismos financiadores, tais como Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) ou Caixa Econômica Federal.

Com base no SGPU implantado no Distrito Federal foi obtido financiamento para manutenção das vias no valor total de R\$565 milhões, valor expressivo e possível apenas com base nas informações detalhadas de onde seria investido o recurso, com transparência e com técnica racional. O valor foi financiado pelo BID. As obras resultantes desse investimento fizeram parte do Programa Asfalto Novo, cuja primeira etapa contemplou apenas a Região Administrativa Brasília e, a segunda etapa, contemplou as vias arteriais e coletoras das demais Regiões Administrativas, exceto a RA Vicente Pires, que já possuía previsão de recursos própria. Sem esse padrão de plano de negócio que o SGPU oferece não seria possível pleitear esses recursos.

Atualmente o SGPU do DF é bastante ativo e responsável direto pela elaboração de planos de negócio, com projetos específicos para captação de recursos por parte do Governo do Distrito Federal. Talvez pela recente e bem-vinda atuação intensa dos órgãos fiscalizadores, tais como Tribunal de Contas, Ministério Público, Controladoria e Corregedoria, há mais critérios para a liberação de recursos e acompanhamento de sua efetiva aplicação. E apenas com um SGPU funcional é possível atender a essas demandas.

Em estudo de caso no Distrito Federal, para uma licitação para serviços de manutenção preventiva e manutenção corretiva, havia necessidade de distribuir os recursos para quatro lotes de Regiões Administrativas. Com base nos estudos do SGPU foi possível estabelecer um critério racional de acordo com as necessidades de cada lote. Apenas de acordo com as notas de ICP não foi possível definir a aplicação dos recursos por lote, tendo sido necessário definir as áreas com necessidade de manutenção preventiva e as áreas com necessidade de manutenção corretiva e, assim, definir os investimentos em cada lote. Como resultado, os R\$279,9

milhões foram distribuídos de acordo com a porcentagem de área que necessitava de manutenção em cada lote. Contradizendo uma lógica mais óbvia, a ordem decrescente de extensão ou de número de segmentos não correspondeu ao critério de área com necessidade de intervenção, este último mais justo como critério para a divisão dos recursos. Essas considerações apenas são possíveis devido ao SGPU possuir um banco de dados bem estruturado e confiável e, ainda, com ferramentas adequadas de análise dos dados e apresentação dos resultados em ambiente SIG, tanto em mapas temáticos quanto gráficos e planilhas.

Quando um SGPU é assistido por um SIG-T, as possibilidades de apresentação de resultados são amplas. Por exemplo, no caso do Distrito Federal, em que há uma organização territorial em 30 Regiões Administrativas, com diferentes extensões, condição de vias e população, é importante que os dados sejam transformados em informações para que possam ser apresentados e interpretados de modo particularizado. Com base nessa premissa foi apresentado um exemplo de particularização das informações para a Região Administrativa - RA Brasília. As vias podem ser apresentadas em função da classe funcional, com a divisão em arteriais, coletoras e locais. O SIG-T também permite apresentar as vias de uma determinada classe funcional de uma específica RA que apresente o defeito trincas por fadiga. Com isso é possível planejar as atividades de M&R adequadamente. Podem, também, serem selecionadas apenas as vias com panelas. E assim sucessivamente, com qualquer um dos defeitos avaliados ou qualquer combinação deles. Se houver uma pré-definição de quais M&R são mais adequadas para cada intervalo de transição de ICP, podem, também, ser organizadas as informações de modo a mostrar um mapa temático com os valores de ICP, os quais podem, ainda, ser subdivididos por classe funcional dentro de cada RA.

Cada Região Administrativa pode ter as alternativas de M&R apresentadas por classe funcional, o que é útil a depender da fonte de recursos, a qual pode ser específica para algum tipo de intervenção ou para algum tipo de via (classe funcional).

Conforme os resultados apresentados, o Distrito Federal recebeu R\$565 milhões e aplicou em vias arteriais e coletoras. Esse foi o Programa Asfalto Novo. A quantidade de segmentos de pista com defeitos diminuiu significativamente entre as avaliações

de campo de 2010/2011 e 2014, período de realização do programa, porém, na avaliação seguinte, em 2015, nas vias arteriais, já se observou avanço no número de segmentos de pista com defeitos, sinal de que não houve preocupação em manutenção preventiva e possível falha de gerência em nível de projeto, principalmente pelo número de trincas por fadiga que dobrou em um ano. As vias coletoras não tiveram a evolução da presença de defeitos verificada, pois não houve uma terceira avaliação para essa constatação. As vias locais apresentaram variação aleatória entre RAs, com aumento e diminuição de segmentos com defeitos.

Houve avaliações de campo no Distrito Federal com equipamento de filmagem, porém, os resultados não foram satisfatórios. A identificação dos segmentos não foi precisa o bastante para uma análise em escritório.

Como conclusão final, pode-se assumir, com base nos resultados apresentados, que um SGPU é uma ferramenta com potencial para diminuir custos de manutenção de vias pavimentadas e, ainda, mantê-las em condições adequadas ao tráfego. Um SGPU pode ser simples, com análises realizadas em planilha eletrônica, como foi realizado em São Carlos, ou sofisticado, com apoio de software específico, como é o caso do SGPU do Distrito Federal. Independentemente do grau de sofisticação do SGPU, a qualidade da avaliação de campo e a aplicação da M&R correta, na época correta, são imprescindíveis para a adequada operação do SGPU.

6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestões para trabalhos futuros pode-se destacar a possibilidade de avaliação automatizada, para diminuir ao máximo a subjetividade. Essa é a tendência em países desenvolvidos, com vantagens na padronização de avaliações entre diferentes agências para um objetivo (ainda utópico) de padronização nacional. As avaliações de campo podem ser realizadas de modo a se obter modelos de previsão de desempenho e estes podem ser testados em diferentes localidades. Podem ser estudados mecanismos legais que facilitem a aproximação entre as prefeituras e os centros de pesquisa para que planos racionais de manutenção e reabilitação se

sobreponham aos atuais tapa-buracos e recapeamento sem adequado dimensionamento.

Os defeitos mais frequentes devem ser investigados em diferentes localidades a fim de se verificar se há uma tendência ou se há variação significativa em regiões diferentes. Esses dados podem ser a base para um modelo nacional de avaliação de campo da condição da malha viária urbana.

Séries históricas mais longas de avaliações de campo podem ser utilizadas para acompanhamento da diminuição da serventia, do desempenho das vias e dos efeitos das atividades de M&R adotadas pelas administrações municipais. Diferentes localidades podem apresentar diferentes desempenho, com necessidade de ajustes caso um modelo nacional de desempenho de vias urbanas pavimentadas seja pretendido.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (2007). *Maintenance Manual for Roadways and Bridges*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Al-Abdul Wahhab *et al.* (2002). Development of Pavement Management System for Municipality Roads, Saudi Arabia. *Transportation Research Record 2978*. TRB. National Research Council. Washington, D.C.
- Al-Qadi, I. L., Sebaaly, P. E., Wambold, J. C. (1992). “*New and Old Technology Available for Pavement Management System to Determine Pavement Condition*”, Pavement Management Implementation, ASTM STP 1121, Frank B. Holt and Wade L. Gramling, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992.
- Allen, D. L., Rizemberg, R. L., Sharpe G. W. (1992). “*History and Implementation of Pavement Management in Kentucky*”, Pavement Management Implementation, ASTM STP 1121, Frank B. Holt and Wade L. Gramling, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992.
- Amekudzi, A. A.; Attoh-Okine, N. O. (1997). Institutional Issues in Implementation of Pavement Management Systems by Local Agencies. *Transportation Research Record 1524*. TRB. National Research Council. Washington, D.C.
- Aps, M., Balbo, J. T. e Severi, A. A. (1998). *Avaliação Superficial de Pavimentos Asfálticos em Vias Urbanas Utilizando o Método do PCI*. 31ª Reunião Anual de Pavimentação, São Paulo, São Paulo, 1998.
- Aps, M., Cardoso, S. H. e Gonçalves, A. L. (2001). *Índice PCI – Pavement Conditional Index, para pavimentos asfálticos e sua associação a procedimentos de manutenção de rotina em nível de rede*. Anais da 33ª Reunião Anual de Pavimentação, Florianópolis/SC.
- ASTM - American Society for Testing and Materials E 670 – 1994 (Reapproved 2000 e 2009) - *Standard Test Method for Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter*.
- ASTM - American Society for Testing and Materials D 6433 - 2011 - *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*.
- ASTM - American Society for Testing and Materials E1777-1996 (Reapproved 2002 e 2009) – *Standard Guide for Prioritization of Data Needs for Pavement Management*. Philadelphia, USA, 09 p.
- ASTM - American Society for Testing and Materials E 303-1993 (Reapproved 1998 e 2003) – *Standard Test Method for Measuring Surface Friction Properties Using the British Pendulum Tester*.

- ASTM - American Society for Testing and Materials E 965-1996 – *Standard Test Method for Measuring Pavement Macrottexture Depth Using a Volumetric Technique*.
- Baladi, M. Y. (1992). *“Pavement Condition Index – Remaining Service Life”*. Pavement Management Implementation, ASTM STP 1121, Frank B. Holt and Wade L. Gramling, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992.
- Balbo, J. T. (2007). *Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração*. Oficina dos Textos. São Paulo.
- Becker, V. E. G. (2012). *Aplicação do Modelo de Tavakoli para Gerência de Manutenção de Pavimentos em Cidade de Médio Porte*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Bernucci, L. B., Motta, L. M. G., Ceratti, J. A. P., Soares, J. B. *Pavimentação Asfáltica: formação básica para Engenheiros*. Petrobras. Abeda. Rio de Janeiro.
- Carey, W. N.; Irick, P. E. (1960). *The Pavement Serviceability. Performance Concept*. Highway Research Board Bulletin 250, p.40-58.
- Causin, P. B. (2001). *Estudo de Sistema de Gerência de Pavimentos para Cidades de Pequeno e Médio Porte*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP.
- Clark, G. N., Moore, R. K. (1982). *“A Critical Assessment Pavement Management Standardization”*. Pavement Management Implementation, ASTM STP 1121, Frank B. Holt and Wade L. Gramling, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992.
- Da Silva, L. A. X. (2003). *Contribuição para um Modelo de Seleção de Revestimentos de Pavimentos em Ambientes Urbanos (Caso de Curitiba)*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná.
- Danieleski, M. L. (2004). *Proposta de Metodologia para Avaliação Superficial de Pavimentos Urbanos: Aplicação à Rede Viária de Porto Alegre*. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.
- De Oliveira, J. J. (2013). *Experiência de Implantação de Sistema de Gerência de Pavimentos em Cidade de Médio Porte – Estudo de Caso: Anápolis-GO*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
- DNER ES 128 83 Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Levantamento da Condição de Superfície de Segmento Testemunha de Rodovia de Pavimento Flexível ou Semi-Rígido para Gerência de Pavimento em Nível de Rede*.
- DNER PRO 008 94 Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos*.

- DNER ME 024 94 Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Determinação das deflexões no pavimento pela viga Benkelman.*
- DNER PRO 273 96 Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo "Falling Weight Deflectometer FWD".*
- DNIT 006 2003 PRO Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes. *Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos.*
- DNIT 007 2003 PRO Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes. *Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos.*
- DNIT 008 2003 PRO Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes. *Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos.*
- DNIT 009 2003 PRO Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes. *Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos.*
- Fernandes, F. A. T. (2011). *Desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento para Conservação do Pavimento de Vias Urbanas, Através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG)*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 2011.
- Fernandes Júnior, J. L. (2001). *Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos para Cidades de Médio Porte*. Texto de Livre-Docência. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia e São Carlos. São Carlos, São Paulo.
- Fernandes Júnior, J. L., Oda, S. e Zerbini, L. F. (2001). *Defeitos e Atividades de Manutenção e Reabilitação em Pavimentos Asfálticos*. Apostila. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, dezembro de 2001.
- Fernandes Júnior, J. L., Lopes, S. B., Pfaffenbichler, P. C. (2012). *Dynamic Modeling of a Urban Pavement Management System Directly Connected to a GIS*. International Journal of Pavement, Volume 11, Number 1-2-3, September 2012.
- Fernandes Júnior, J. L.; PANTIGOSO, J. F. G (1998). *Uso de los Sistemas de Informacion Geografica para la Gerencia de Pavimentos Urbanos*. In: A. Lopez Pitta e F. Robuste Anton. (Org.). *El Transporte en el Siglo XXI* (ISBN 84-89925-14-3). 1ed.Barcelona - Espanha: Artes Graficas Torres S.A., 1998, v. 2.
- Freitas, E. S. (2002). *Implantação de um sistema de gerenciamento para manutenção de pavimentos de vias urbanas – S. G. M. P. Urb, através de um sistema de informações geográficas: Aplicação à cidade de Joinville*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 170 p., 2002

- Haas, R.; Hudson, R. W.; Zaniewsk, J. (1994). *Modern Pavement Management*. Editora Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.
- Hansen, A. (2008). Aplicação de SIG em Sistema de Gerência de Pavimentos para a Cidade de Maringá. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR.
- Hansen, M., Frandolozo, G. e Gonçalves, F. P. (2006). *Elementos Auxiliares à Gerência do Sistema Viário do Município de Passo Fundo-RS*. 13ª Reunião de Pavimentação Urbana, Maceió, Alagoas, 2006.
- Harper, W. V. e Majidzadeh, K (1982). “*Inovation in PMS – State of Ohaio & Kingdom of Saudi Arabia*”. Pavement Management Implementation, ASTM STP 1121, Frank B. Holt and Wade L. Gramling, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992.
- HeadQuarters, Department of the Army (1982). *Pavement Maintenance Management*. Technical Manual TM 5-623. Washington, DC, November 1982.
- Helali, K. at al. (2005). *Potencial Benefits of Integrating Preventive Maintenance Into New Jersey Pavement Management System*. Transportation Research Board, Annual Meeting CD-ROM.
- Heleven, L. J. E., Dirckix, P., “*Data Collection in Belgium and Their Use in the Maintenance Planning System*”, Pavement Management Implementation, ASTM STP 1121, Frank B. Holt and Wade L. Gramling, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992.
- Hudson, W. Ronald, Waheed Uddin, Ralph C. Haas (1997). *Infrastructure Management: Integrating Design, Construction, Maintenance, Rehabilitation, and Renovation*. McGraw Hill.
- Hudson, S. W., Hudson, W. R., and Carmichael, R. F., (1992) “*Minimum Requirements for Standard Pavement Management Systems*,” Pavement Management Implementation, ASTM STP 1121, Frank B. Holt and Wade L. Gramling, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992.
- La Torre, F., Ballerini, L., Di Volo, N. (2002). *Correlation between longitudinal Roughness and user perception in urban areas*. Transportation Research Board 3643.
- Lima, J. P. (2007). *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. São Carlos, 2007.
- Lee, H. (1992). “*Standartization of Distress Measurements for the Network-Level Pavement Management System*”, Pavement Management Implementation, ASTM STP 1121, Frank B. Holt and Wade L. Gramling, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992.

- Li, Z. e Zhang, Z. (2005) *Improving Performance Prediction of Pavement Infrastructure with New Inspection Data*. Transportation Research Board, *Annual Meeting CD-ROM*.
- Mascaró, J.L. (1987). *Desenho urbano e custos de urbanização*. Brasília, MHU/SAM, 1987.
- Matos, F. C. de (2004). *Gerência da Manutenção da Superfície de Rolamento de Vias Urbanas Utilizando SIG*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2004.
- Medina, J. de (1997). *Mecânica dos Pavimentos*. Editora UFRJ. Rio de Janeiro, 1997.
- Moraes, C. A. S., Rodrigues, J. K. G., Filho, H. B. M., Queiroz, M. W. e Guimar, L. C. (2006). *Uma Proposta para Avaliação, Manutenção e Restauração de Pavimentos das Vias Urbanas*. 18º Encontro de Asfalto, Instituto Brasileiro de Petróleo – IBP. Rio de Janeiro, 2006.
- Nascimento, D. M. (2005). *Análise Comparativa de Modelos de Previsão de Desempenho de Pavimentos Flexíveis*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- Nostrand, W. A. (1992) “*The History of Pavement Management in the Federal Highway Administration*,” Pavement Management Implementation, ASTM STP 1121, Frank B. Holt and Wade L. Gramling, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992.
- Paez, E. M. A. (2015). *Índice de Condição do Pavimento (ICP) para Aplicação em Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- Papet, L. M. (1992). “*Federal Highway Administration - Current PMS Requirements*,” Pavement Management Implementation, ASTM STP 1121, Frank B. Holt and Wade L. Gramling, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992.
- Peddibhotla, S. S. S., Murphy, M., Zhang, Z. (2011). *Validation and Implementation of the Structural Condition Index (SCI) for Network-level Pavement Evaluation*. Report nº FHWA/TX-11/5-4322-01-1. Texas Department of Transportation.
- Shahin, M. Y. (1994). *Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots*. Editora Chapman & Hall, New York, NY.
- Shain, M. Y, Kohn, D. S. (1979). *Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets and Parking Lot*. CERL-TR-M-268, U.S.Army, 1979, vol. 1 e 2.
- Portal da Transparência do Governo Federal, em “Convênios”. A consulta foi realizada em 16/04/2017 (<http://www.portaltransparencia.gov.br/convenios/consultam.asp?fcod=7079&fuf=sp&forgao=00&fconsulta=0>).

- SHRP (1993). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement performance Studies*. The Strategic Highway Research Program. National Academy of Science. Washington, D.C.
- Scaranto, M. e Gonçalves, F. P. (2008). *Manutenção de Pavimentos Urbanos com Revestimentos Asfálticos*. Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil, nº 12, p. 69-80, outubro de 2008, ISSN 1677-3047. Editora Dunas.
- Stuch, E. T. (2005). *Interferências de Obras de Serviço de Água e Esgoto Sobre o Desempenho de Pavimentos Urbanos*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.
- The Asphalt Institute (1981). *A Pavement Rating System for Low-Volume Asphalt Roads*, Information Series No. 169 (IS-169). College Park, Maryland, 1981.
- Vidotto, J. P., Fontenele, H. B. (2013). *Efeito da Variação da Espessura do Revestimento nas Respostas Estruturais do Pavimento Flexível*. In: Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 34, n. 2, p. 156-166, jul./dez. 2013.
- Wang, K. C. P. e Smadi, O. (2011) *Automated Imaging Technologies for Pavement Distress Surveys*. Transportation Research Circular E-C156.
- Weissmann, J., Weissmann, A. J. e Gona, S. (2003). *Texas Equipment Replacement Model (Term) Software Manual*. Relatório FHWA/TX-03/0-4941-3.
- Zanchetta, F. (2005) *Aquisição de Dados Sobre a Condição dos Pavimentos Visando a Implementação de Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.
- Zerbini, L. F. (1999). *Desenvolvimento de Modelos de Desempenho para Utilização em Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

APÊNDICE 1 - CÁLCULO DO PCI

Cálculo do PCI para o segmento ID 453. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
453	trincas por fadiga	B	10	32	497	7	83	17
		M	10	46				
		A	5	53				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	10	62				
	remendos	B	10	16				
		M	10	31				
		A	5	36				
	panelas	B	2	70				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	5	20				
		M	10	44				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	5	32				
		A	0	0				
	exsudação	B	5	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	20	8				
		M	10	18				
		A	5	29				

Cálculo do PCI para o segmento ID 1270. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
1270	trincas por fadiga	B	5	25	343	7	83	17
		M	8	44				
		A	5	53				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	10	16				
		M	5	22				
		A	1	18				
	panelas	B	2	70				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	10	28				
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	20	8				
		M	10	18				
		A	10	41				

Cálculo do PCI para o segmento ID 3342. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
3342	trincas por fadiga	B	1	11	262	7	83	17
		M	2	28				
		A	1	30				
	defeito nos bordos	B	0	0				
		M	1	8				
		A	0	0				
	remendos	B	1	2				
		M	1	10				
		A	0	0				
	panelas	B	0	0				
		M	1	91				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	1	8				
		M	1	18				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	3	1				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	20	8				
		M	10	18				
		A	5	29				

Cálculo do PCI para o segmento ID 1007. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
1007	trincas por fadiga	B	10	32	353	7	83	17
		M	5	38				
		A	10	62				
	trincas logitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	5	10				
		M	20	42				
		A	2	25				
	panelas	B	2	70				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	20	8				
		M	20	25				
		A	10	41				

Cálculo do PCI para o segmento ID 710. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
710	trincas por fadiga	B	10	32	336	7	85	15
		M	8	45				
		A	5	52				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	2	2				
		M	3	15				
		A	1	15				
	panelas	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	10	28				
		M	30	58				
		A	5	48				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	20	8				
		M	5	13				
		A	2	20				

Cálculo do PCI para o segmento ID 749. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
749	trincas por fadiga	B	5	25	273	7	82	18
		M	5	38				
		A	5	53				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	30	26				
		M	10	31				
		A	2	25				
	panelas	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	30	10				
		M	20	24				
		A	10	41				

Cálculo do PCI para o segmento ID 985. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
985	trincas por fadiga	B	5	25	308	7	83	17
		M	5	38				
		A	5	53				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	30	26				
		M	10	31				
		A	5	36				
	panelas	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0				
		M	10	44				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	20	8				
		M	10	18				
		A	5	29				

Cálculo do PCI para o segmento ID 986. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
986	trincas por fadiga	B	3	20	368	7	82	18
		M	6	41				
		A	3	46				
	defeito nos bordos	B	10	11				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	30	27				
		M	10	31				
		A	2	25				
	panelas	B	0	0				
		M	1	91				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	30	10				
		M	20	25				
		A	10	41				

Cálculo do PCI para o segmento ID 1268. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
1268	trincas por fadiga	B	5	25	214	7	83	17
		M	5	38				
		A	2	40				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	10	16				
		M	5	22				
		A	1	18				
	panelas	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	20	8				
		M	10	18				
		A	5	29				

Cálculo do PCI para o segmento ID 713. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
713	trincas por fadiga	B	0	0	198	7	81	19
		M	2	28				
		A	2	40				
	trincas longitudinais	B	2	4				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	10	16				
		M	5	22				
		A	2	24				
	panelas	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0				
		M	0	0				
		A	1	18				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	25	8				
		M	10	18				
		A	2	20				

Cálculo do PCI para o segmento ID 733. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
733	trincas por fadiga	B	0	0	180	7	79	21
		M	8	42				
		A	8	59				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	3	6				
		M	5	22				
		A	0	0				
	panelas	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	15	6				
		M	8	16				
		A	5	29				

Cálculo do PCI para o segmento ID 735. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
735	trincas por fadiga	B	0	35	122	5	70	30
		M	10	37				
		A	5	0				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	2	5				
		M	3	17				
		A	0	0				
	panelas	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	20	10				
		M	10	18				
		A	0	0				

Cálculo do PCI para o segmento ID 3239. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
3239	trincas por fadiga	B	3	0	173	6	82	18
		M	1	0				
		A	0	0				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	25	25				
		M	20	42				
		A	2	25				
	panelas	B	1	58				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	30	10				
		M	5	13				
		A	0	0				

Cálculo do PCI para o segmento ID 3440. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
3440	trincas por fadiga	B	0	0	128	6	63	37
		M	0	0				
		A	0	0				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	1	2				
		M	0	0				
		A	0	0				
	panelas	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	1	8				
		M	2	24				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	2	21				
		A	3	45				
	exsudação	B	1	0				
		M	2	5				
		A	2	8				
	desgaste	B	10	5				
		M	2	10				
		A	0	0				

Cálculo do PCI para o segmento ID 6001. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
6001	trincas por fadiga	B	0	0	239	5	96	4
		M	0	0				
		A	0	0				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	0	0				
		M	2	14				
		A	0	0				
	panelas	B	0	0				
		M	1	91				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	20	8				
		M	70	85				
		A	10	41				

Cálculo do PCI para o segmento ID 163. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
163	trincas por fadiga	B	0	0	99	5	50	50
		M	0	0				
		A	0	0				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	3	6				
		M	5	22				
		A	0	0				
	panelas	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	15	6				
		M	15	24				
		A	10	41				

Cálculo do PCI para o segmento ID 165. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
165	trincas por fadiga	B	0					
		M	0	0				
		A	0	0				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	1	2				
		M	0	0				
		A	0	0				
	panelas	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0	33	2	23	77
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	15	6				
		M	20	25				
		A	0	0				

Cálculo do PCI para o segmento ID 169. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
169	trincas por fadiga	B	2	16				
		M	0	0				
		A	0	0				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	5	10				
		M	3	17				
		A	0	0				
	panelas	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0	77	5	45	55
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	30	10				
		M	15	24				
		A	0	0				

Cálculo do PCI para o segmento ID 3438. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
3438	trincas por fadiga	B	0	0	20	2	15	85
		M	0	0				
		A	0	0				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	1	2				
		M	0	0				
		A	0	0				
	panelas	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	20	8				
		M	2	10				
		A	0	0				

Cálculo do PCI para o segmento ID 5974. Fonte: Autor.

ID	DEFEITOS	Severidade	Densidade %	DV	TDV	q	CDV	PCI
5974	trincas por fadiga	B	1	11	36	3	22	78
		M	0	0				
		A	0	0				
	trincas longitudinais	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	remendos	B	2	4				
		M	0	0				
		A	0	0				
	panelas	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	deformação permanente	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	corrugação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	exsudação	B	0	0				
		M	0	0				
		A	0	0				
	desgaste	B	20	8				
		M	5	13				
		A	0	0				