

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



**APLICAÇÃO DO MÉTODO PCI (*PAVEMENT CONDITION INDEX*) PARA
DEFINIÇÃO DOS SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO ASFÁLTICA:
UM ESTUDO DE CASO NA AVENIDA CÉSAR LATTES EM GOIÂNIA-GO.**

GABRIELA MOREIRA LOPES

GOIÂNIA
2025

GABRIELA MOREIRA LOPES

**APLICAÇÃO DO MÉTODO PCI (*PAVEMENT CONDITION INDEX*) PARA
DEFINIÇÃO DOS SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO ASFÁLTICA:
UM ESTUDO DE CASO NA AVENIDA CÉSAR LATTES EM GOIÂNIA-GO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola Politécnica e de Artes, da
Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como
parte dos requisitos para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a):

Prof. Dr. Benjamim Jorge R. dos Santos

Banca examinadora:

Prof. Me. Edson Nishi

Prof. Dra. Marta Pereira da Luz

GOIÂNIA
2025

GABRIELA MOREIRA LOPES

**APLICAÇÃO DO MÉTODO PCI (*PAVEMENT CONDITION INDEX*) PARA
DEFINIÇÃO DOS SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO
ASFÁLTICA: UM ESTUDO DE CASO NA AVENIDA CÉSAR LATTES EM
GOIÂNIA-GO.**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado em sua forma final pela Escola Politécnica e de Artes, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, em ____/____/_____.

Orientador(a): Prof. Dr. Benjamim Jorge R. dos Santos

Prof. Me. Edson Nishi

Prof. Dra. Marta Pereira da Luz

GOIÂNIA
2025

AGRADECIMENTOS

À Deus – meu refúgio e fortaleza, porque achei graça aos Teus olhos por ter me conduzido de modo que eu desfrutasse de tão grande vitória.

Aos meus pais, João Rodrigues Lopes e Andréia Moreira de Abreu Rodrigues, e à minha irmã, Mariana Moreira Lopes, pelas inestimáveis orações, apoio e dedicação à construção da minha trajetória acadêmica, pessoal e profissional.

Ao Professor Dr. Benjamim Jorge Rodrigues dos Santos, orientador acadêmico, pelos ensinamentos e pelo apoio e confiança depositados.

À Pontifícia Universidade Católica de Goiás por me oferecer uma formação técnica e humanista sólida, bem como aos professores com quem muito aprendi. Em especial, aos membros da banca avaliadora, os professores Edson Nishi e Marta Luz, esta última atual Coordenadora do Curso de Engenharia Civil.

À Pra. Zilene de Paula, e aos meus irmãos em Cristo, membros da Igreja Metodista Novo Horizonte, por todo o apoio.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

“Porque sabemos que, se a nossa casa terrestre deste tabernáculo se desfizer, temos de Deus um edifício, uma casa não feita por mãos, eterna, nos céus.”

2 Coríntios 5:1

RESUMO

Apresentou-se um estudo de caso na Avenida César Lattes, principal via do Setor Novo Horizonte e uma das interligações entre os municípios de Goiânia e Aparecida de Goiânia. Categorizada como uma via arterial de acordo com o Plano Diretor de Goiânia, a referida avenida apresenta grande fluxo, o que desencadeou várias manifestações patológicas ao longo de sua vida útil. Neste sentido, verificou-se a condição do pavimento através de uma pesquisa quantitativa das patologias, através da qual foi possível determinar as intervenções recomendáveis para a via. Além disso, o estudo demonstrou a boa aplicabilidade do método *Pavement Condition Index* (PCI) ou Índice de Condição do Pavimento, como alternativa ao já conhecido Índice de Gravidade Global (IGG) e seu potencial como ferramenta básica constituinte de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP).

Palavras-Chave: Sistema de Gerência de Pavimentos. Asfalto. Patologia. *Pavement Index Condition*.

ABSTRACT

A case study was presented on Avenida César Lattes, the main road in the neighborhood of Novo Horizonte and one of the connections between the cities of Goiânia and Aparecida de Goiânia. Categorized as an arterial road according to the Goiânia Master Plan, the avenue in question has a high flow of traffic, which has triggered several pathological manifestations throughout its useful life. In this sense, the pavement condition was obtained through a quantitative survey of the pathologies, through which it was possible to determine the recommended disciplines for the road. In addition, the study demonstrated the good applicability of the Pavement Condition Index (PCI) method, as an alternative to the already known Global Gravity Index (IGG) and its potential as a basic tool constituting a Pavement Management System (PMS).

Keywords: *Pavement Management System. Asphalt. Pathology. Pavement Index Condition.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Seção Transversal Típica de Pavimento Flexível	13
Figura 2.2 – Sistema Pavimento	14
Figura 2.3 – Revestimentos flexíveis	15
Figura 2.4 – Mapa do Império Romano	16
Figura 2.5 – Algumas vias romanas	17
Figura 2.6 – <i>Ruta de La Plata</i>	18
Figura 2.7 – Via Flaminia	19
Figura 2.8 – Mapa das rotas antiga e nova da Via Flaminia	19
Figura 2.9 – Resquícios da Estrada Real em Paraty (RJ)	23
Figura 2.10 - Estrada de Rodagem União e Indústria	24
Figura 2.11 – Patologias utilizadas por Shahin no método PCI	27
Figura 3.1 – Estrutura de um Sistema de Gerência de Pavimentos	28
Figura 3.2 – Atividades básicas do SGP	29
Figura 3.3 – Fatores analisados na Avaliação dos Pavimentos	29
Figura 3.4 – Etapas para a implantação de um SGP	30
Figura 3.5 – Linha do tempo de uma via	31
Figura 3.6 – Modalidades de Conservação	33
Figura 3.7 – Etapas do processo de restauração	34
Figura 3.8 – Níveis de decisão de um SGP	36
Figura 3.9 – Fluxograma de um SGP com estratégias de M&R	37
Figura 3.10 – Curvas de desempenho de alternativas de projeto	38
Figura 3.11 – Aspectos do Custo Global do Pavimento	39
Figura 3.12 – Fatores que influenciam no desempenho do pavimento	40
Figura 3.13 – Desempenho do pavimento ao longo do tempo	42
Figura 3.14 – Gráfico de Desempenho do Pavimento	43
Figura 3.15 – Período recomendável para a manutenção	44
Figura 3.16 – Faixas de variação do IRI em diversas situações	45
Figura 4.1 – Fatores que influenciam no cálculo do PCI	50
Figura 4.2 – Escala padrão do PCI	53
Figura 4.3 – PCI = 99	54
Figura 4.4 – PCI = 80	54
Figura 4.5 – PCI = 64	54

Figura 4.6 – PCI = 50	55
Figura 4.7 – PCI = 30	55
Figura 4.8 – PCI = 22	55
Figura 4.9 – Histórico dos valores de PCI (2005 a 2023)	56
Figura 4.10 – Veículo <i>Road Tester</i> 3000	59
Figura 4.11 – Tecnologias inclusas no RT3000	60
Figura 4.12 – Distribuição dos valores de PCI em Waseca (EUA)	61
Figura 4.13 – Cálculo do PCI obtido pelo Sistema Micro PAVER	61
Figura 4.14 – Vias analisadas em Maringá (PR)	64
Figura 4.15 – Comparação entre PCI objetivo (A) e subjetivo (B)	66
Figura 4.16 – Gráfico comparativo entre PCI objetivo e subjetivo	66
Figura 4.17 – Correlação entre PCI objetivo e subjetivo	67
Figura 4.18 – Trechos com PCI objetivo e subjetivo discrepante	68
Figura 4.19 – Correlação IRI-RCI para a cidade de Waseca (EUA)	70
Figura 4.20 – Distribuição dos valores de RCI em Waseca (EUA)	70
Figura 4.21 – Escala customizada do PCI	73
Figura 4.22 – Patologias mais frequentes em pavimentos asfálticos	74
Figura 4.23 – Intervalos de PCI para seleção de estratégias de M&R	75
Figura 4.24 – Necessidades de M&R <i>versus</i> PCI	75
Figura 5.1 – Aspecto da Avenida César Lattes	78
Figura 5.2 – Avenida César Lattes e outras avenidas próximas	78
Figura 5.3 – <i>Doodle “Celebrating César Lattes”</i>	80
Figura 6.1 – Metodologia do trabalho	81
Figura 6.2 – Materiais utilizados durante o levantamento in loco	82
Figura 6.3 – Execução da pesquisa de condição	82
Figura 6.4 – Ábaco de correção do VTD	83
Figura 6.5 – Escala padrão do PCI para a via de estudo	84
Figura 7.1 – Gráfico comparativo entre os Trechos 01 e 02	85
Figura 7.2 – Prevalência de remendos no Trecho 01	86
Figura 7.3 – Manifestações secundárias encontradas no Trecho 01	86
Figura 7.4 – Manifestações encontradas em ambos os trechos	86
Figura 7.5 – Intervenções executadas na via: remendos	87
Figura 7.6 – Patologia nº 5: Remendo	87
Figura 7.7 – Patologia nº 28: Remendo	87

Figura 7.8 – Patologia nº 35: Remendo	87
Figura 7.9 – Patologia nº 36: Remendo	88
Figura 7.10 – Patologias nº 42 e nº 43: Remendos	88
Figura 7.11 – Patologia nº 56: Remendo	88
Figura 7.12 – Patologia nº 2: Couro de jacaré	89
Figura 7.13 – Patologia nº 26: Couro de jacaré	89
Figura 7.14 – Patologia nº 54: Couro de jacaré	89
Figura 7.15 – Patologia nº 55: Couro de jacaré	89
Figura 7.16 – Patologia nº 38: Fissuras em blocos	90
Figura 7.17 – Estratégia de M&R sugerida conforme PCI da via	91
Figura 7.18 – Faixas de M&R conforme PCI da via	91
Figura 7.19 – Fissuras em blocos	93
Figura 7.20 – Patologia nº 8: Fissura por reflexão de juntas	93
Figura 7.21 – Couro de jacaré de alta severidade	94
Figura 7.22 – Couros de jacaré de média severidade	94
Figura 7.23 – Patologia nº 63: Couro de jacaré de baixa severidade	94
Figura 7.24 – Remendos de alta severidade	95
Figura 7.25 – Remendos de média severidade	95
Figura 7.26 – Remendos de baixa severidade	96
Figura 7.27 – Painelas	96
Figura 7.28 – Corrugação (à esquerda) e Exsudação (à direita)	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.3 – Níveis de serventia	53
Tabela 4.1 – Valores de PCI conforme o Nível de Serviço	66
Tabela 4.2 – Mesmo PCI, diferentes condições de pavimento	67
Tabela 4.3 – PCI manual <i>versus</i> automatizado	72
Tabela 4.4 – Diferença de pontos entre valores de PCI	73
Tabela 4.5 – Níveis de Prioridade de Manutenção	81
Tabela 4.6 – Categorias de Tratamento segundo o PCI	86
Tabela 4.7 – Comparativo orçamentário (2021-2030) para Waseca	86
Tabela 6.1 – Dados para o cálculo do Valor Total de Dedução (VTD)	92
Tabela 6.2 – Dados para o cálculo do Valor de Dedução Corrigido	93
Tabela 6.3 – Valores de PCI conforme o Nível de Serviço	94
Tabela 7.1 – Resumo das Manifestações Patológicas	95
Tabela 7.2 – Necessidades de M&R sugeridas segundo o PCI	101
Tabela 7.3 – Critérios para classificação dos fatores	102
Tabela 7.4 – Intervenções sugeridas para fissuras em blocos	102
Tabela 7.5 – Intervenções para fissuras por reflexão de juntas	102
Tabela 7.6 – Intervenções sugeridas para couros de jacaré	103
Tabela 7.7 – Intervenções sugeridas para remendos	105
Tabela 7.8 – Intervenções para painelas, corrugação e exsudação	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Definição de estratégias de manutenção	43
Quadro 3.2 – Restauração e reabilitação de pavimentos	45

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CTB	Código Brasileiro de Trânsito
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
EUA	Estados Unidos da América
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GP	Gerência de Pavimentos
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IGD	Índice Global de Degradação
IGG	Índice de Gravidade Global
ISP	Índice de Serventia <i>Paragon</i>
IRI	<i>International Roughness Index</i>
M&R	Manutenção e Restauração
PCI	<i>Pavement Condition Index</i>
PCR	<i>Pavement Condition Rating</i>
PDI	<i>Pavement Distress Index</i>
PSR	<i>Present Serviciability Ratio</i>
PSI	<i>Present Serviciability Index</i>
RCI	<i>Riding Comfort Index</i>
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
USACE	<i>U.S Army Corps of Engineers</i>
VDC	Valor de Dedução Corrigido
VSA	Valor da Serventia Atual
VTD	Valor Total de Dedução

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	OBJETIVOS	9
1.1.1	Objetivo Geral	10
1.1.2	Objetivos Específicos	10
1.2	Justificativa.....	10
1.3	Composição do Trabalho	11
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Pavimento	12
2.1.1	Pavimento Flexível	12
2.1.2	Breve História da Pavimentação.....	15
2.1.3	Breve História da Pavimentação no Brasil.....	22
2.2	As Patologias dos Pavimentos Flexíveis.....	27
3.	SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS.....	28
3.1	Definição e Objetivo.....	28
3.2	Implantação do SGP	30
3.3	Conceitos Básicos	31
3.4	Níveis de Decisão de um SGP	35
3.5	Análise Econômica	38
3.6.1	Condições operacionais	40
3.6.2	Condições estruturais.....	41
3.6.3	Condições funcionais.....	41
4.	MÉTODO PCI.....	46
4.1	Definição e Objetivo.....	46
4.2	Cálculo do PCI.....	49
4.2.1	Valores de dedução	50

4.2.2	Passo-a-passo	50
4.3	Valor do PCI.....	52
4.4	Coleta de Dados Automatizada.....	57
4.4.1	Coleta de dados automatizada em Waseca (EUA).....	58
4.4.2	Cálculo do PCI usando o Sistema Micro PAVER.....	60
4.4.3	Coleta de dados manual versus automatizada	61
4.5	Avaliações Objetivas e Subjetivas	62
4.5.1	Avaliações Objetivas e Subjetivas em Maringá (PR)	63
4.6	Considerações sobre o PCI	67
4.6.1	PCI versus outros métodos	67
4.6.2	Novos parâmetros de análise do PCI	69
4.6.3	PCI Customizado	71
4.7	Patologias, Classificação das Vias e Propensão a Acidentes	72
4.8	Necessidades de M&R e Análise Orçamentária	74
5.	CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO	77
5.1	Via de Estudo	77
5.1.1	Avenida César Lattes	77
5.1.2	Sobre o nome César Lattes	78
5.1.3	O Setor Novo Horizonte	79
6.	ESTUDO DE CASO	80
6.1	Classificação da Pesquisa	80
	Precedido de uma pesquisa bibliográfica, o presente estudo é de caráter qualitativo, o que, segundo Fachin, 2003 apud Berbel, 2016, é definido como uma análise estatística para traduzir os fenômenos estudados. Na aplicação do método PCI tais fenômenos são as patologias do pavimento, caracterizadas pela severidade, tipologia e possíveis causas das manifestações patológicas encontradas na via de estudo. Pela metodologia do PCI pôde-se definir as intervenções futuras a serem implementadas pela GP.	80
6.2	Métodos de Trabalho	80

6.2.1 Etapas Constituintes.....	80
6.2.2 Aplicação do Método PCI.....	80
7. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	85
7.1 Intervenções sugeridas para a via	90
7.1.1 2 Intervenções sugeridas a partir do Valor do PCI	90
7.1.3 Intervenções sugeridas a partir das Árvores de Decisão.....	91
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	98
REFERÊNCIAS	100
APÊNDICES	104
ANEXOS	121

1. INTRODUÇÃO

Apesar da existência do *Homo Sapiens* datar de 70 mil anos atrás, conforme Bernucci *et al.* (2008), a história da pavimentação é relativamente recente, tendo surgido quase que concomitantemente com a escrita, há aproximadamente 4 mil anos.

Segundo Hagen, (1955) *apud* Bernucci *et al.*, (2008), e Balbo (2007), apesar da existência de diversas estradas construídas ao longo da história com intuítos comerciais, desfiles militares e reais ou para peregrinações religiosas, as estradas romanas são consideradas as primeiras de fato planejadas – atentando-se, inclusive, à importância da manutenção. Segundo Antikefan (2024), sob o lema “*Via est vita*”, que significa “Estradas são vida”, os romanos, sobretudo durante o Império, construíram uma extensa malha viária que se tornou crucial para investidas militares, fortalecimento da economia e melhor domínio do vasto território imperial.

Entretanto, com o fim do Império Romano, em 476 d.C., a França foi o primeiro país a perceber a importância da construção de estradas para o desenvolvimento do comércio. De acordo com Bonzano (1950) *apud* Balbo, (2007), em 1770 o engenheiro francês Pier-Maria Jerolame Trésaguet criou e implantou um método novo de pavimentação, baseado nos métodos romanos já existentes. Ele foi seguido pelo engenheiro escocês John-Loudon Mac-Adam o inventor do macadame, e pelo engenheiro inglês Thomas Telford, além do português José Diogo de Mascarenhas Neto, Superintendente-Geral das Calçadas e Estradas do Reino de Portugal.

Na América Latina, destacam-se as estradas da civilização inca. No Brasil, conforme Santos (2017), *apud* Freitas e Cortezia, (2020), a pavimentação conquistou um avanço significativo a partir da Segunda Guerra Mundial, época que correspondeu ao auge da política rodoviária. Tal política teve grande influência de Washington Luís, ex-governador do Estado de São Paulo e 13º Presidente da República. Apelidado de “estradeiro”, seu lema era “governar é abrir estradas”, cuja frase na íntegra era derivada de “Governar é povoar”, frase de Afonso Pena, sexto Presidente da República.

De acordo com CNT (2024), através dos resultados obtidos pela Pesquisa CNT de Rodovias 2024, o modal rodoviário brasileiro possui uma abrangência territorial significativamente maior do que outros meios de transporte, responsável por movimentar 95% dos passageiros e 65% das cargas. A extensão total da malha rodoviária é de 118.853 km, sendo 7692 km de extensão no estado de Goiás.

67% da malha (75.039 km) foi classificada como Regular, Ruim ou Péssimo, enquanto 33% (36.814 km) foram classificados como Ótimo ou Bom. Em relação ao ano anterior, houve

piora no estado geral das vias analisadas, relacionada à falta de manutenção regular e adequada, ao aumento do tráfego de veículos, às condições climáticas adversas e à qualidade dos materiais utilizados na construção e manutenção.

A pesquisa destacou a necessidade de investimentos tempestivos e constantes, estimando um investimento total de R\$ 99,77 bilhões para a reconstrução, restauração e manutenção dos pavimentos. Desse montante, R\$ 70,56 bi referem-se a medidas emergenciais, de restauração (R\$ 69,06 bi) e de reconstrução (R\$ 1,5 bi), e R\$ 29,21 bi para ações de manutenção do pavimento.

No entanto, os investimentos públicos federais em rodovias não são suficientes para tais ações. Nos últimos três anos, respectivamente, foram investidos apenas R\$ 6,97, R\$ 13,22 e 13,98 bilhões de reais em recursos.

Nesse sentido, a aplicação de métodos de análise de condição do pavimento se constitui como ferramenta que pode auxiliar na tomada de decisão sobre quando e quais as intervenções mais recomendadas para melhorar a condição da via, além de racionalizar a aplicação de recursos, geralmente escassos. Assim, o método *Pavement Condition Index* (PCI) se destaca dos demais como uma alternativa mais completa e segura, que pode melhorar o processo de tomada de decisão em um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP).

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho de conclusão de curso visa proporcionar uma avaliação técnica e quantitativa das patologias de uma via, referente às condições do seu pavimento e o grau de deterioração em que se encontra atualmente, através da aplicação do método *Pavement Condition Index* (PCI) ou Índice de Condição do Pavimento, que resulte em dados úteis para a racionalização dos recursos disponíveis para intervenções a serem feitas ao longo de vias urbanas, que garantam um bom funcionamento do pavimento, prolongue sua vida útil e possibilite a acomodação de um possível acréscimo da demanda do tráfego. Com os dados obtidos os gestores poderão realizar um planejamento otimizado dos recursos a serem investidos na manutenção e adequação das vias. A viabilidade do trabalho será assegurada, após caracterização do tráfego existente, observações e análises dos defeitos *in loco*, que fornecerão dados para a aplicabilidade do método.

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar tecnicamente a condição da superfície de rolamento do tráfego do pavimento flexível da Avenida César Lattes, localizada no Setor Novo Horizonte, um bairro na Região Sudoeste de Goiânia, através do método PCI.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar a condição do pavimento através do método PCI;
- Identificar as patologias existentes no pavimento;
- Definir as possíveis atividades de manutenção recomendáveis;
- Analisar a aplicabilidade do método.

1.2 Justificativa

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), via é a “superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, ilha e canteiro central”. Conforme o art. 60, do Capítulo III, as vias podem ser urbanas ou rurais, pelo qual as vias urbanas distinguem-se em: via de trânsito rápido; via arterial; via coletora e via local.

O Plano Diretor de Goiânia, instituído pela Lei Complementar nº 349, de 04 de março de 2022, no Artigo 105, classifica hierarquicamente as vias da cidade, existentes, projetadas e a implantar, em: vias expressas de 1ª e 2ª categorias; vias arteriais de 1ª e 2ª categorias; vias coletoras; vias locais; ciclovias; e vias de pedestre.

Para Araújo (2017), a classificação das vias leva em consideração o fim a que se destina, bem como o espaço geográfico em que se situa. De acordo com o CTB e DNIT (2006), a via de trânsito rápido é caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível.

A via arterial, cuja função principal é a de propiciar mobilidade, é caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade. A via coletora coleta e distribui o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade. A via local é caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas.

O presente trabalho apresenta um estudo de caso na Avenida César Lattes, principal via do Setor Novo Horizonte e uma das interligações entre os municípios de Goiânia e Aparecida

de Goiânia. De acordo com o Plano Diretor de Goiânia, a referida avenida é considerada uma via arterial de 1ª Categoria, ou seja, é uma “via que redistribui o tráfego das vias expressas para os seus destinos, até o nível das arteriais secundárias e que possui capacidade e velocidade menor que a via expressa, com traçado sensivelmente contínuo e interseções predominantemente em nível, atendendo principalmente à mobilidade do tráfego, podendo, contudo, ser permitido o acesso a propriedades adjacentes”.

Segundo Pinatt *et al.* (2020), as vias arteriais teoricamente apresentam maior fluxo, o que pode desencadear um número maior de defeitos; porém, isso também depende de outros fatores, como a data da última manutenção realizada no pavimento. Assim, pela notória importância da Avenida Cessar Lattes na mobilidade do Setor Novo Horizonte é que ela foi escolhida para estudo detalhado da condição do seu pavimento.

1.3 Composição do Trabalho

O presente trabalho é composto por oito capítulos. O Capítulo 1 destina-se à introdução, onde são expostos o objetivo geral e os objetivos específicos, a justificativa e a composição do trabalho. O Capítulo 2 abrange o referencial teórico, composto pelas definições de pavimento e pavimento flexível, além da breve história da pavimentação no mundo e, especialmente no Brasil. Também estão incluídas as patologias definidas pelo método PCI para os pavimentos flexíveis. O Capítulo 3 aborda generalidades do Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP). O Capítulo 4 discorre acerca do Método PCI, metodologia utilizada na análise da condição do pavimento. O Capítulo 5 apresenta a caracterização do trecho, onde é apresentada a via de estudo. O Estudo de Caso do pavimento é apresentado no Capítulo 6, que contempla a classificação da pesquisa, os métodos de trabalho que incluem as etapas constituintes do estudo, do método PCI e a metodologia das Árvores de Decisão.

O Capítulo 7 apresenta a análise da condição atual do pavimento, obtida a partir do levantamento de patologias e da aplicação do Método PCI em cada uma das seções da via, além das intervenções sugeridas. Por fim, o Capítulo 8 trata das considerações finais e das recomendações para eventuais trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pavimento

Segundo Balbo (2007), o termo pavimento origina-se do latim *pavimentus*, advindo do extenso sistema de pavimentação romano. Para Tavares *et al.* (2015), pavimento pode ser definido como uma superestrutura construída sobre o terreno de fundação, o subleito, e constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas. Ainda segundo Balbo (2007), as camadas são executadas com materiais de diferentes resistências e deformidades. A estrutura do pavimento é concebida a fim de transmitir verticalmente os esforços para as camadas inferiores. As camadas se deformam de maneira compatível com a sua natureza e capacidade, de modo a não ocorrer ruptura ou danos dessas camadas.

Um pavimento deve apresentar qualidade a um custo mínimo. De acordo com Freitas e Cortezia (2020), a principal função do pavimento asfáltico é permitir o tráfego seguro e satisfatório dentro de seu ciclo de vida. Além destas, outras funções do pavimento são:

- Resistir e transmitir ao subleito os esforços verticais como pressões transmitidas pelos pneus dos veículos, choques e impactos e os horizontais como as provenientes das frenagens, desgastes e abrasão oriundos do tráfego, além de tornar a superfície de rolamento mais durável;
- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade, conforto e segurança.

Os pavimentos podem ser flexíveis, semirrígidos ou rígidos.

2.1.1 Pavimento Flexível

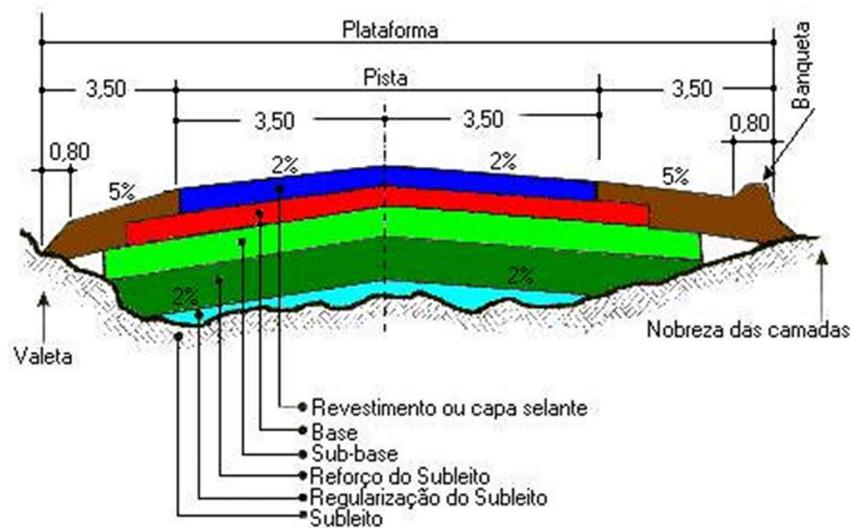
Conforme Marques (2006), pavimentos flexíveis são aqueles constituídos por camadas que não trabalham à tração. Normalmente são constituídos de revestimento betuminoso delgado sobre camadas granulares. A capacidade de suporte é função das características de distribuição de cargas por um sistema de camadas superpostas, onde as de melhor qualidade encontram-se mais próximas da carga aplicada.

Segundo o DNIT (2006), todas as camadas do pavimento flexível sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado. Assim, a carga é distribuída verticalmente em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas superpostas.

Os pavimentos flexíveis são principalmente compostos por camada superficial asfáltica, o revestimento ou capa selante, apoiada sobre camadas de base, sub-base e de reforço do subleito, constituídas por materiais granulares. A fundação do pavimento é o subleito que normalmente é regularizado com solo usado na terraplanagem. Um exemplo típico é um pavimento constituído por base de brita corrida, macadame, brita graduada ou solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica.

No dimensionamento tradicional de pavimentos flexíveis são consideradas as características geotécnicas dos materiais a serem usados na sua estrutura. A definição da espessura das diversas camadas depende do suporte dos materiais, representado pelo CBR e pelo do tráfego, representado pelo número N, que significa o número de repetições de um eixo padrão (8,2 ton.) na superfície do pavimento durante o período de projeto. Uma seção transversal típica de um pavimento flexível é apresentada na Figura 2.1, a seguir.

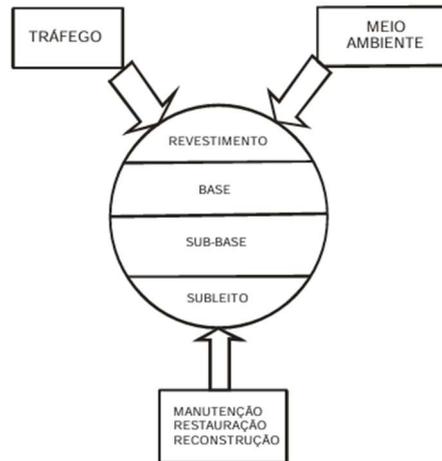
Figura 2.1 - Seção Transversal Típica de Pavimento Flexível



Fonte: Marques (2006)

Segundo o DNIT (2011), o conjunto dos componentes revestimento, base, sub-base e subleito interage mutuamente entre si e é denominado Sistema Pavimento (Figura 2.2). Todo o sistema está submetido a fatores externos, como as condições ambientais, o volume de tráfego, a capacidade de suporte do subleito, as operações de manutenção e a rigidez e espessura das camadas. Para Bernucci *et al.* (2008), esses fatores podem fazer com que uma ou mais camadas sejam suprimidas.

Figura 2.2 – Sistema Pavimento



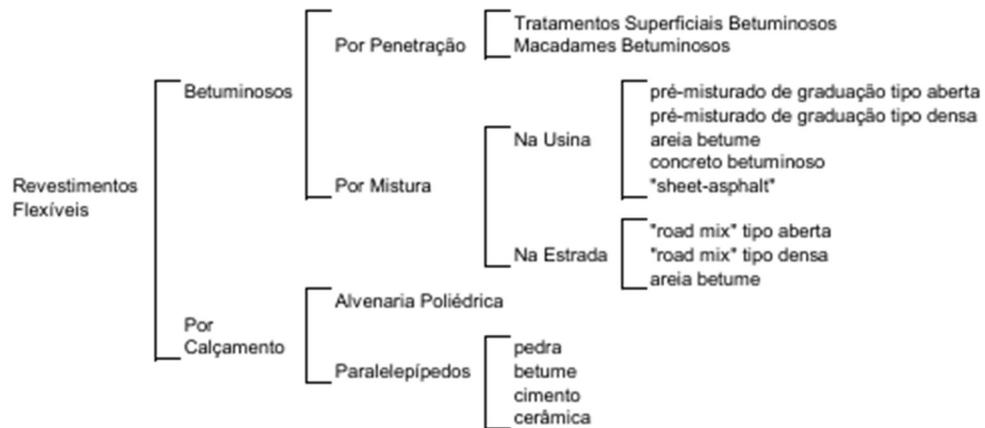
Fonte: DNIT (2011).

Segundo Tavares *et al.* (2015), o pavimento flexível tem menor custo de construção nas situações de menor tráfego comercial em relação ao pavimento de concreto, o que o torna a alternativa mais indicada à medida que os volumes de tráfego aumentam.

Os pavimentos flexíveis podem ser betuminosos e por calçamento, conforme classificação apresentada na Figura 2.3. Segundo Berbel (2016), os betuminosos podem ser feitos por mistura na usina ou na pista, onde o agregado é envolvido por uma mistura betuminosa a quente ou a frio, ou por penetração direta ou invertida dos agregados na camada de ligante betuminoso.

Os pavimentos flexíveis por calçamento são mais frequentemente utilizados em pátios de estacionamento e vias urbanas locais. Eles se subdividem em dois tipos: os de alvenaria poliédrica e os de paralelepípedos, construídos respectivamente, por compactação de pedras irregulares assentadas sobre uma base irregular e por assentamento de blocos irregulares sobre uma base regularizada.

Figura 2.3 – Revestimentos flexíveis



Fonte: DNIT (2006).

2.1.2 Breve História da Pavimentação

Abrams, 2013 *apud* Bernucci *et al.*, 2008, apresenta dados históricos referentes à construção de estradas, enumerando as mais importantes em escala global. O autor salienta que as estradas pavimentadas com pedras mais antigas de que se tem notícia datam de aproximadamente 4 mil anos a.C. e foram construídas na Índia e na Mesopotâmia. Foram quase que contemporâneas da escrita, que surgiu entre 3500 e 3000 a.C. Diversas outras vias citadas são as seguintes: a estrada de Semíramis construída 600 a.C., que cruzava o Rio Tigre e margeava o Eufrates, na Mesopotâmia; a Estrada Real, construída cem anos depois, entre Éfeso, no Império Grego, e Susa, no Império Persa. A Estrada Real tinha mais de 2 mil km de extensão e contava com postos de correio, pousadas e até pedágio. Posteriormente, em 300 a.C., Alexandre o Grande construiu uma estrada, que permitia tráfego de veículos com rodas, de Susa até Persépolis, no atual Irã. No relato foi citado que uma das mais conhecidas estradas da antiguidade foi a Estrada da Seda, fronteira entre Europa e Ásia, pela China.

Segundo Hagen, 1955 *apud* Bernucci *et al.*, 2008, e Balbo (2007), apesar da existência de diversas estradas construídas com intuítos comerciais, desfiles militares e reais ou para peregrinações religiosas, as estradas romanas são consideradas as primeiras de fato planejadas.

O auge do desenvolvimento das estradas romanas deu-se com o Império, ilustrado na Figura 2.4, embora existissem mesmo antes dele. A mais extensa, com cerca de 5 mil km, ligava a Muralha de Antonino, na Escócia, a Jerusalém, em Israel. Segundo Antikefan (2024), o

investimento em estradas pelos romanos foi o maior dentre os povos da antiguidade, que adotaram o lema “*Via est vita*”, que significa “Estradas são vida”.

Figura 2.4 – Mapa do Império Romano



Fonte: Antikefan (2024)

Para Margary, 1973 *apud* Bernucci *et al.*, 2008, as estradas romanas eram projetadas para facilitar o deslocamento militar e de civis, contavam com um sistema de manutenção e eram compostas por pequenos trechos retos que mudavam de direção conforme a topografia da região, ainda que seguissem o curso de rios e riachos. A falta de curvas era proposital, afinal os eixos dos veículos da época eram fixos, o que dificultava a execução de manobras.

Adam, 1994 *apud* Bernucci *et al.*, 2008, ressalta que as vias seguiam um padrão de classificação: as mais importantes eram as vias públicas do Estado (*viae publicae*), depois as construídas pelo exército (*viae militares*), que eventualmente se tornavam públicas; seguidas das vias locais (*viae actus*) e das privadas (*viae privatae*).

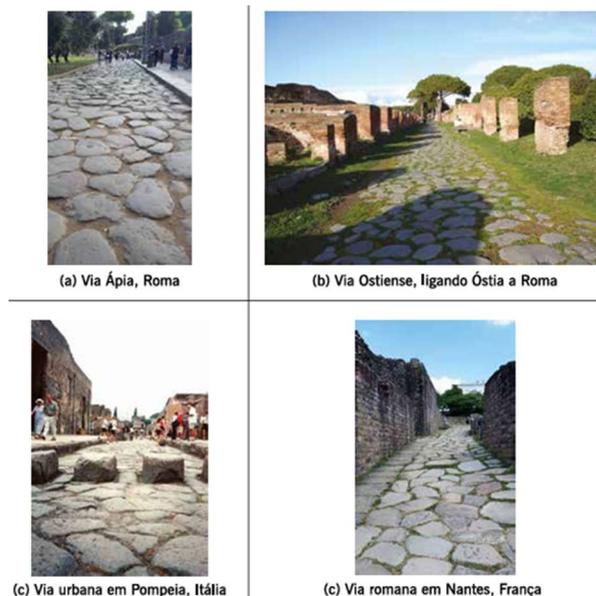
Segundo Antikefan (2024), havia dois outros tipos de estradas: as vicinais (*viae vicinales*) e as urbanas (*viae urbanae*). Também conhecidas como estradas provinciais ou secundárias, as vias vicinais eram propriedade do Estado, apesar de a construção e manutenção ficar a cargo das administrações provinciais. As vias urbanas eram de responsabilidade do município, que destinava recursos e terrenos para a construção.

As vias públicas e militares eram mantidas por funcionários de alto escalão, e eram nomeadas em homenagem aos seus construtores: censores, cônsules e senadores, durante a República, e, na época imperial, homenageavam o imperador. Em relação à construção, as vias públicas eram geralmente construídas por soldados e escravos, enquanto as privadas e as vicinais eram construídas e mantidas exclusivamente por escravos. Nas vias privadas, os donos de casas construía as estradas para interligar suas propriedades às vias públicas ou vicinais.

Bernucci *et al.* (2008) destaca que a mais conhecida das estradas romanas foi a Via Appia (figura 2.5a), batizada em homenagem ao seu construtor, o censor Appius Claudius. Construída em 312 a.C., tinha 195 km de extensão e ligava Roma a Cápua, mas posteriormente foi estendida de Taranto até Brundisi, a fim de que as tropas pudessem chegar ao Mar Adriático com mais rapidez. Outra de grande destaque era a Via Ostiense (figura 2.5b), que ligava Óstia a Roma. A Figura 2.5c, ilustra uma via urbana em Pompeia, pela imagem é possível constatar que as vias eram pavimentadas com pedras devidamente intervaladas para permitir a circulação dos veículos rodantes. A figura 2.5d mostra uma via em Nantes, atual França.

Embora as estradas romanas remanescentes estejam recobertas com pedras não conectadas, Chevalier, 1976 *apud* Bernucci *et al.*, 2008, aponta que o desgaste do tempo e do tráfego retirou o material ligante.

Figura 2.5 – Algumas vias romanas



Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

Conforme Balbo (2007), foram construídas pelo menos 33 vias durante a República romana, das quais destacam-se a Via Flaminia, a Aurelia e a Clodia. Com a ascensão do cônsul Júlio César ao poder, quando houve uma grande expansão de Roma, até mesmo as regiões longínquas da Dalmácia e da extinta Gália foram conectadas a Roma através de estradas. Algumas dessas estradas ainda podem ser encontradas desde a Europa Oriental até o norte da Europa Ocidental.

No Reino Unido, foram construídas quatro estradas: Ermine ou Via Arminho, a principal rota para o norte da ilha em direção à Muralha de Adriano, ligava Londres a Lincoln e York; a *Stane Street*, que ligava Londres a Chichester. *Watling Street* ligava Londres a Leicester, e a

Fosse Street que ligava Leicester a Exeters. Na França, a Via Agripa ligava Arles a Lyon, e, na Croácia, foi construída em 47 d.C. a Via Gabiana ou Gabiniana, também conhecida como Prenestina,

Segundo Antikefan (2024), a Via Domitia foi construída após a conquista da costa mediterrânea gaulesa por Gnaeus Domício Ahenobarbus, ligava a Itália aos territórios conquistados da Espanha, seguia por Briançon, via Nimes, Narbonne, na França, e depois se tornava a Via Augusta, perto da fronteira espanhola. Embora tenha sido construída principalmente para fins militares, a estrada desempenhou um papel importante na economia da região.

Na Espanha havia duas vias notáveis: a Via Augusta e a *Ruta de La Plata*, ilustrada na Figura 2.6. A Via Augusta passava por Barcelona, Tarragona, Sagunto, Valência, Cartagena, Córdoba, Carmona e Hispalis, atual Sevilha, até Gades na costa atlântica. Construída em 139 a.C., no oeste da Espanha, pelo côsul romano Quintus Servílio Caepio, a *Ruta de La Plata* conectava Augusta Emerita, atual Mérida, a Astorga. Depois, saía de Gijón via Astorga, León, Salamanca, Cáceres, Mérida e Sevilha. Seu nome deriva da expressão romana "via lata", que significa rua larga, ou também do árabe "balatha", que significa caminho pavimentado, era a rota comercial mais importante que ligava o norte ao sul da Espanha e ramificava-se na Via Augusta, em Sevilha.

Figura 2.6 – *Ruta de La Plata*



Fonte: Antikefan (2024)

Na Holanda, foi descoberto um trecho de 2,5 km perto de Vleuten. A estrada ligava várias cidades, desde Nijmegen e Xanten à Colônia. Dois outros fragmentos de via encontrados perto de Valkenburg e Woerden testemunham o curso da estrada na parte norte. A parte sul ia de Colônia via Mainz e Estrasburgo até Vindonissa. A grande estrada não ligava apenas a região alpina ao Mar do Norte, mas também a todos os maiores acampamentos militares do Reno.

Além destas, havia uma grande rota comercial, a Rua Âmbar, que partia da Aquileia, perto do Mar Adriático, na Itália, via Carnunto, na Áustria, atravessava o Danúbio, para as chamadas áreas "bárbaras", e continuava em direção à região do Mar Báltico. A Via Claudia Augusta, que foi construída em 47 d.C., ia de Altino, perto do Mar Adriático, via Feltre, Bolzano e Merano, na Itália, alcançava Landeck na Áustria, e seguia até Landsberg, Augsburg e Donauwörth, na Alemanha. Um ramal lateral conectava a italiana Trento via Verona até Ostiglia.

A Via Engatia, datada do século II a.C., foi criada pelo procônsul Caio Inácio a fim de conectar Roma a Constantinopla, atual Istambul, na Turquia, era como uma extensão da Via Appia através da rota marítima de Brundisi a Durrës, na Albânia. Saía de Durrës, via Edesse e Salônica e Antipolis, na Grécia, até Constantinopla, passando antes pela cidade turca de Kipsela.

Ainda segundo Antikefan (2024), a Via Flaminia, mostrada na Figura 2.7, era considerada a segunda das estradas romanas, foi construída em 220 a.C. pelo cônsul Caio Flaminio. O trajeto original foi modificado posteriormente, dando origem à Via Flaminia Nuova, cuja rota é ilustrada na Figura 2.8.

Figura 2.7 – Via Flaminia



Fonte: Antikefan (2024)

Figura 2.8 – Mapa das rotas antiga e nova da Via Flaminia



Fonte: Antikefan (2024)

A Via Aurelia, construída por volta de 240 a.C., conectava Roma a Cosa, e, posteriormente, Pisa e Luna. Perto de Luca, a referida via conectava-se à Via Cassia, que ligava Roma a Luca e Pisa. A Via Clodia ligava Roma a Vetulonia. A Via Domitiana, que ia de Terracina via Nápoles à Regia Calábria, era também de grande importância, pois, era ligada à Via Appia e conectava Roma à Sicília.

Estradas menores na Itália incluem as vias Latina, Collatina, Titurbina e Severiana, que ligavam Roma a Cápua e à Collatia, Tivoli e Terracina, respectivamente. Construída em 187 a.C., a Via Aemilia ligava as cidades de Rimini, Bolonha e Piacenza. A Via Valeria, construída em 307 a.C., ligava Tivoli a Ostia, enquanto a Via Claudia Valeria ligava Collarmele a Pescara. Gênova era um importante destino e a Via Postumia, construída em 148 a.C., ligava Gênova à Piacenza, Cremona, Verona e Aquileia, enquanto a Via Aemilie Scauri ligava Gênova a Dertona. Também de grande importância, a Via Júlia Augusta ligava Gênova a Arles, na França, enquanto a Via Agripa ligava Arles a Lyon.

Segundo Bely, 2001 *apud* Bernucci *et al.*, 2008, com o fim do Império Romano em 476 d.C., a França foi o primeiro país a perceber o bom efeito que as estradas tinham no desenvolvimento do comércio. De acordo com Bonzano, 1950 *apud* Balbo, 2007, em 1770 o engenheiro francês Pier-Marie Jerolame Trésaguet criou e implantou um método novo de pavimentação, baseado nos métodos romanos. Em 1820, o engenheiro escocês John Loudon Mac-Adam publicou suas próprias ideias, que divergiam das de Trésaguet e das de Thomas Telford, engenheiro inglês que também se pesquisava sobre o assunto.

Balbo (2007) destaca que Mac-Adam ficou conhecido pela criação do macadame hidráulico, assim denominado em sua homenagem. Suas ideias eram consideradas empíricas, enquanto Telford foi apelidado pelos ingleses de “Pontífice Máximo das Estradas”.

Conforme Mascarenhas Neto, 1790 *apud* Bernucci *et al.*, 2008, os investimentos em estradas começaram a ser notáveis a partir dos anos 700 d.C., entraram em declínio entre os séculos X e XII, mas foram retomados durante o reinado de Felipe Augusto, entre 1180 e 1223, que se preocupou não apenas com a construção de novas estradas, mas também com a sua manutenção. A partir do modelo francês, os ingleses desfrutaram de notável desenvolvimento econômico após a construção de importantes vias, que se tornaram, à época, as mais cômodas, duráveis e velozes da Europa.

Ainda conforme Mascarenhas Neto, 1790 *apud* Bernucci *et al.*, 2008, o surgimento das estradas na França, Inglaterra e Escócia, levou o político e magistrado português José Diogo de

Mascarenhas Neto que viveu entre 1752 e 1826, a criar o “Methodo para construir as estradas em Portugal”, documento que instituiu diretrizes sobre erosão, drenagem e abaulamento, distâncias de transporte, compactação, locação e sobrecarga. Um dos capítulos aborda especificamente acerca da conservação das estradas, destacando a obrigação de “vigiar qualquer pequeno estrago, que ou pelas chuvas, ou pelo trilho dos transportes, principia a formar-se no corpo da estrada, nos caixilhos, nos fossos e nos aquedutos”.

Além disso, o autor, Superintendente-Geral das Calçadas e Estradas do Reino de Portugal, preocupava-se com o viés econômico, destacando a abundância de saibro, tufo, terras calcárias e arenosas em todo o território, o que possibilitava baratear a construção das estradas portuguesas em relação às construídas em outros países.

Segundo Bernucci *et al.* (2008), durante expedições feitas entre 1799 e 1804 pela América Latina, o geógrafo e naturalista alemão Alexander Von Humboldt, o Barão de Humboldt, qualificou as estradas incas como “os mais úteis e estupendos trabalhos realizados pelo homem”. Civilização avançada em diversos aspectos, os incas construíram um sistema de estradas que abrangia um extenso território, que cobria a região árida do litoral, florestas e as grandes altitudes da cordilheira dos Andes. A malha viária dos incas era estimada entre 17 e 40 mil km de extensão. Construídas acima do nível dos rios, a fim de evitar inundações, as estradas civis possuíam 1 m de largura, enquanto as militares, 16 metros. Havia duas estradas principais no sentido longitudinal: a serrana e a costeira, com cerca de 4350 e 3900 km, respectivamente. Essas vias eram interligadas por um elaborado sistema de vias transversais.

Segundo Balbo (2007), em 1870 foi construído em uma rua de Newark, New Jersey, nos Estados Unidos, o primeiro pavimento com revestimento betuminoso, pelo químico belga E.J. DeSmedt. Segundo o Asphalt Institute (2024), DeSmedt é considerado o Pai da Pavimentação Asfáltica. Na ocasião, ele usou asfalto natural retirado do lago Trinidad. Em 1874, ele o usou em Washington, D.C., e depois em várias outras cidades do país.

Corini, 1947 *apud* Balbo, 2007, salienta que, com o surgimento de diversas teorias e a expansão do uso de Cimento Portland nas construções na segunda metade do século XIX, o concreto de cimento Portland tornou um material utilizado frequentemente na pavimentação de vias, tendo sido aplicado pela primeira vez em Grenoble, na França, e em Bellafontaine, Ohio, nos EUA, no ano de 1876.

Balbo (2007) ressalta que, em 1885, o físico e matemático francês Joseph Boussinesq publicou a obra “*Application des potentiels a l’étude de l’équilibre et du mouvement des solides elastiques*”, documento que se tornaria, anos mais tarde, a principal referência adotada nos estudos de pavimentação modernos.

No final do século XIX ficou evidenciado, pelo uso crescente de veículos motorizados, a ineficiência dos pavimentos puramente granulares, idealizados pelos franceses e ingleses 100 anos antes. Em 1890, os pavimentos de concreto de cimento Portland começaram a ser empregados massivamente na Alemanha, passando a serem executados nos EUA a partir de 1909, mesmo sendo o país um grande produtor de asfalto derivado de petróleo, material usado nos pavimentos até então.

As décadas de 1920 e 1930 foram marcadas pela criação do *California Bearing Ratio* (CBR) do Ensaio de Proctor e pela publicação de estudos e documentos sobre pavimentos flexíveis e rígidos. Em 1943, o engenheiro D. M. Burmister, professor da Universidade de Columbia, publicou um estudo a partir das equações de Boussinesq. Suas teorias se tornaram a base para o desenvolvimento dos softwares Dama 2, Bisar e Elsym 5.

2.1.3 Breve História da Pavimentação no Brasil

Segundo Bernucci *et al.* (2008), a Estrada do Mar foi uma das primeiras estradas do país e ligava São Vicente ao Planalto Piratininga, no Estado de São Paulo. A construção foi iniciada em 1560, ficou paralisada por bom período, mas as obras foram retomadas em 1661. Desgastada após mais de 100 anos de operação, a Estrada do Mar foi recuperada em 1789, quando foi pavimentada com lajes de granito. A partir daí, passou a ser denominada de Calçada Lorena, que até os dias atuais possui boa parte ainda preservada. Parte de seu traçado foi utilizado para a construção da Estrada da Maioridade, uma homenagem a D. Pedro II. Iniciada em 1837 e concluída em 1844, após operação por mais de setenta anos, foi recuperada em 1913 e posteriormente abandonada, devido a operação mais eficiente da linha férrea implantada na região. Porém, em 1920, a estrada foi reconstruída e passou a ser pedagiada. Cerca de 2 anos depois, o seu trecho mais íngreme foi pavimentado com concreto de Cimento Portland. Em 1923, o pedágio foi abolido por Washington Luís, então presidente, equivalente ao atual cargo de governador, do Estado de São Paulo.

Outra estrada bastante conhecida é a Estrada Real ou Caminho do Ouro, mostrada na Figura 2.9, cujo traçado começa na Trilha Goianá, usada pelos índios goianás antes da chegada dos portugueses. Após algum tempo esquecida, a partir de 1660, a trilha passou a ser utilizada para facilitar a ligação do Rio de Janeiro a São Paulo. A Estrada Real possui 2 trechos: o velho, que liga Ouro Preto (MG) a Paraty (RJ) e o novo, que se inicia no Rio de Janeiro, passa por Ouro Preto e finaliza em Diamantina (MG). No século XVIII, a estrada foi calçada para viabilizar o transporte de ouro e diamantes. Posteriormente, no século XVIII, a referida via foi

novamente melhorada, desta vez para facilitar o transporte de café. Durante o século XIX, a Estrada Real ficou praticamente abandonada, mas, ainda no século XX, em 1999, foi reestruturada para viabilizar o turismo histórico.

Figura 2.9 – Resquícios da Estrada Real em Paraty (RJ)



Fonte: Paraty (2024).

Disponível em: <<https://paraty.com.br/caminho-do-ouro/>>.

Outro registro digno de nota, ocorreu em 1841, quando o engenheiro alemão Júlio Frederico Koeler, a mando de D. Pedro II, construiu a Estrada Normal da Serra da Estrela, ligando as cidades fluminenses de Porto da Estrela e Petrópolis. Para integração dos modais de transporte na região, foi construída a primeira ferrovia do país, que ligava Porto Mauá à Raiz da Serra, no ano de 1854, inaugurada por Irineu Evangelista de Souza, o Barão de Mauá. O objetivo principal da ferrovia foi facilitar o deslocamento Rio de Janeiro até Petrópolis. A partir de Raiz da Serra, a viagem até Petrópolis era pela Estrada Normal da Serra da Estrela.

Uma outra importante via foi a Estrada de Rodagem União e Indústria, que ligava Petrópolis a Juiz de Fora (MG), inaugurada por D. Pedro II em 1860. Foi a primeira rodovia concessionada do Brasil, tinha 144 quilômetros de extensão, 7 metros de largura, leito ensaibrado e compactado e revestido com macadame. Possuía drenagem bem elaborada, inclusive com valetas construídas com alvenaria. O traçado da União e Indústria permitia a então impressionante velocidade de 20 km/h, tendo sido a primeira estrada brasileira a usar macadame como base/revestimento, substituindo o antigo calçamento com pedras vindas de Portugal. Da antiga estrada ainda restam pontes e construções, incluindo o Museu Rodoviário, ainda que parte do traçado original tenha sido alterado e absorvido pela Rodovia BR-040/Rodovia Washington Luís. A Figura 2.10 mostra uma foto da via à época de sua construção.

Figura 2.10 - Estrada de Rodagem União e Indústria



Fonte: Concer (1997) *apud* Bernucci *et al.* (2008)

Apesar de suas relevantes contribuições, o período imperial, que foi de 1822 a 1889 não trouxe significativo desenvolvimento ao setor de transportes do Brasil, notadamente para o modal rodoviário. Ainda no início do século XX, o tráfego era restrito a veículos de tração animal e havia apenas 500 km de estradas, que possuíam revestimento de macadame hidráulico ou variações, que suportavam bem o tráfego leve de até então, haja vista que apenas a partir de 1896 os veículos de carga, chegados da Europa, passaram a circular pelas vias do país.

Segundo Balbo (2007), os 1385 km de estradas construídos por Washington Luís empregavam vários tipos de pavimentos como: asfálticos, de concreto de cimento Portland e paralelepípedos. Além disso, Washington Luiz era adepto da execução de camada de macadame hidráulico ou betuminoso sobre subleitos de estradas de terra, técnica bastante utilizada no século XX.

Segundo Bernucci *et al.* (2007), os primeiros carros particulares foram licenciados a partir de 1903, e, conseqüentemente, o Ministério da Viação e Obras Públicas foi criado em 1906. Três anos depois, ocorreu uma considerável evolução na indústria de veículos motorizados, quando o engenheiro mecânico americano Henry Ford começou a fabricar automóveis nos Estados Unidos da América (EUA). Um fato histórico importante para o rodoviarismo foi I Congresso Nacional de Estradas de Rodagem realizado no Rio de Janeiro no ano de 1916. Quanto à indústria automobilística, o Ford modelo T caiu nas graças do público mundo afora, e, visando a expansão de suas atividades, a Ford se instalou no Brasil em 1919.

Após atuação no senado, Washington Luís foi o 13º Presidente da República e, ainda com fama de “estradeiro”, inaugurou a Rodovia Rio/São Paulo, que, foi renomeada como Rodovia Presidente Dutra em 1949. No mesmo ano, também inaugurou um trecho da BR-040, que liga Petrópolis à capital do estado e foi posteriormente renomeada em sua homenagem. Washington Luiz, segundo Balbo (2007), também foi o responsável pela construção da atual BR-232, que liga Recife a Caruaru, e de diversas outras estradas no Pernambuco.

Em 1937, o presidente Getúlio Vargas criou o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), subordinado ao Ministério de Viação e Obras Públicas. Na década de 1940, foram construídas no Estado de São Paulo a Via Anhanguera e a Via Anchieta, em concreto de Cimento Portland, inspiradas nas *autobahem* alemãs e nas *autostrade* italianas, construídas uma década antes.

Conforme Santos 2017, *apud* Freitas e Cortezia, 2020, a pavimentação conquistou um avanço significativo a partir da Segunda Guerra Mundial. Segundo Bernucci *et al.* (2008), em 1942, quando o Brasil possuía cerca de 1300 km de rodovias pavimentadas, uma das menores extensões da América Latina, engenheiros brasileiros contataram engenheiros americanos que construíram pistas de aeroportos e estradas no Brasil, durante a guerra, utilizando a metodologia do então recém-desenvolvido ensaio *California Bearing Ratio* (CBR). A partir desse evento o CBR passou a ser empregado também nas rodovias sob jurisdição do DNER.

Outro fator de aceleração do desenvolvimento rodoviário no Brasil foi a criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) em 1946, a partir imposto sobre combustíveis líquidos. Em 1950, teve início a construção de pavimentos em escala industrial e a organização das primeiras grandes empresas construtoras. No mesmo ano, foi executada sem qualquer estudo geotécnico, a pavimentação da Rodovia Presidente Dutra. Com alguns trechos em concreto de cimento Portland. O pavimento possuía espessura constante de 35 cm, sendo 20 cm de base de macadame hidráulico e 15 cm de revestimento de macadame betuminoso por penetração.

Na década de 1950 foi colocado em prática um programa de melhoria das estradas vicinais, incluindo a abertura e melhoramento de vias do Nordeste. Em 1953, foi criada a Petrobras, e em 1955, entrou em funcionamento a fábrica de asfalto da Refinaria Presidente Bernardes, com capacidade de 116 mil t/ano. Em 1956, a indústria automobilística foi implantada no país. O governo de Juscelino Kubitschek e a criação de Brasília impulsionaram o rodoviarismo no país.

De acordo com DNIT (2020), o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) foi fundado em 1957 e a Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv) em 1958. Vinculado ao CNPq por quinze anos, o IPR realizava muitos eventos, mas suas pesquisas eram, quando muito, adaptadas às nossas realidades. Em novembro de 1972, o órgão foi transferido para o DNER, onde realizou pesquisas e estudos para órgãos rodoviários estaduais, universidades e indústrias. Em 2001, o IPR passou a ser vinculado ao recém-criado Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Durante o governo militar, foram construídas a Rodovia Transamazônica e a Ponte Rio-Niterói. Segundo Freitas e Cortezia (2020), entre os anos 1960 e 1970, a pavimentação se

constituiu em mais de 20% de toda receita pública, devido ao crescimento exponencial de investimentos em construções de rodovias no país, devido à produção nacional de asfalto. Balbo (2007) destaca a construção da Rodovia Presidente Castello Branco e da Rodovia dos Imigrantes, nos anos de 1967 e 1972, além da Rodovia Porto Alegre/Osório em 1974, através das quais foi introduzido o uso de brita graduada tratada com cimento (BGTC) como base para pavimentos asfálticos.

Conforme Prego 2001, *apud* AGETOP, 2016, a promulgação da Constituição em 1988 possibilitou a melhor organização dos municípios brasileiros, e, por conseguinte, a destinação de verbas federais de infraestrutura para as prefeituras, e o avanço da pavimentação pelo país. Balbo (2007) ressalta que os postos de pedágio e a concessões feitas em todo o país contribuíram para a melhoria das vias.

Entretanto, Freitas e Cortezia (2020) tecem muitas críticas à política rodoviarista, devido à sua priorização em detrimento de hidrovias e ferrovias, execução inadequada e falta de manutenção periódica. Para AGETOP (2016), o déficit rodoviário é causado pelo crescimento desordenado das cidades, reflexo da falta de um bom plano diretor, de boas políticas públicas, e da falta de fiscalização do poder público. Somam-se ainda, a má gestão pública dos recursos financeiros frente ao elevado preço de uma obra de pavimentação e a atual política tributária.

Tavares *et al.* (2015) salienta que os defeitos observados nas vias urbanas se devem, em grande parte, aos projetos feitos exclusivamente em escritório, desconsiderando aspectos práticos de sua implantação, e a falta de acompanhamento da obra pelo projetista e pelo órgão aprovador do projeto.

As falhas de projeto mais comuns se relacionam aos greides das vias, inadequados às características do traçado urbano. As falhas de execução mais frequentes incluem a ausência de drenagem profunda onde necessário, a compactação deficiente dos suportes e capas, a conformação final dos suportes e a ausência de sarjetas. Além disso, também se destacam a inexistência de membranas impermeáveis entre áreas de infiltração e o subleito das pistas, a adoção de taxas de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) no Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) não diferenciadas para os diversos tipos de solicitação e o uso de cascalho de má qualidade.

Apesar de contribuir para a redução dos afundamentos, a dureza do CAP empregado também pode resultar em baixa estabilidade dos pavimentos, caracterizada pelo deslizamento ou enrugamento da capa, notadamente em pontos de maior solicitação, como curvas de pequenos raios e pontos de frenagem.

2.2 As Patologias dos Pavimentos Flexíveis

De acordo com Shahin (2005), as patologias possuem duas causas principais: o carregamento e clima. O autor enumera 19 tipos de danos ao pavimento flexível, mostrados na Figura 2.11, incorporados na norma americana ASTM 6433 – *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys* - Práticas Padrão para Pesquisas de Índice de Condição de Pavimento de Estradas e Estacionamento.

Figura 2.11 – Patologias utilizadas por Shahin no método PCI

Code	Distress	Cause
<i>Asphalt-Surfaced Roads and Parking Areas</i>		
01	Alligator cracking	Load
02	Bleeding	Other
03	Block cracking	Climate
04	Bumps and sags	Other
05	Corrugation	Other
06	Depression	Other
07	Edge cracking	Load
08	Joint reflection	Climate
09	Lane/shoulder drop-off	Other
10	Longitudinal and transverse cracking	Climate
11	Patching and utility cut patching	Other
12	Polished aggregate	Other
13	Potholes	Load
14	Railroad crossings	Other
15	Rutting	Load
16	Shoving	Load
17	Slippage cracking	Other
18	Swell	Other
19	Weathering and ravelling	Climate

Fonte: Shahin (2005)

Os principais danos ou patologias são: couro de jacaré, exsudação ou sangramento, fissuras em blocos, elevações e recalques, corrugação, depressão, fissuras de borda, fissuras por reflexão de juntas, desnível de faixa/acostamento, fissuras longitudinais e transversais, remendos, agregado polido, painelas, cruzamentos ferroviários, depressão nas trilhas de roda, empurrão, fissuras por escorregamento de massa, inchamento e intemperismo e desfiamento. Essas patologias estão detalhadas no Apêndice A.

3. SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

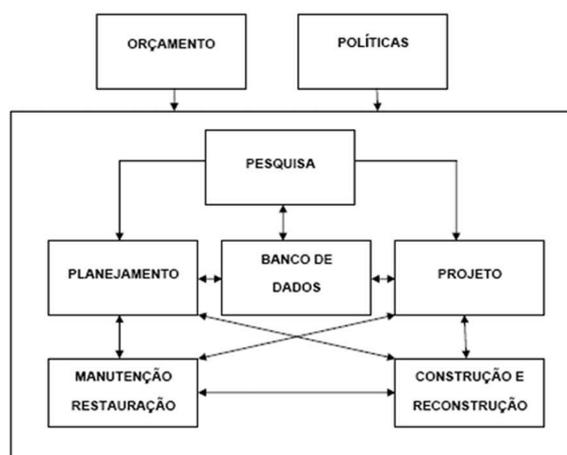
3.1 Definição e Objetivo

Segundo Rodrigues, 2007 *apud* Berbel, 2016, o pavimento é o elemento da infraestrutura de transporte da rede rodoviária e urbana com maior custo. Segundo DNIT (2011), os pavimentos representam um valioso patrimônio, cuja conservação e restauração oportunas são essenciais para a sua preservação. Qualquer interrupção ou redução na intensidade ou na frequência dos serviços necessários à manutenção desse patrimônio implica em aumentos substanciais nos custos de operação dos veículos e na necessidade de investimentos cada vez mais vultosos para sua recuperação.

Ainda de acordo com DNIT (2011), o Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) ou Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) é um sistema que tem como objetivo aperfeiçoar o processo de tomada de decisão, a fim de alcançar a melhor aplicação possível para os recursos públicos disponíveis, facilitar a coordenação das atividades dentro da organização e assegurar a consistência das decisões tomadas em diferentes níveis de gerência. Assim, torna-se possível oferecer um transporte seguro, compatível e econômico através de soluções corretas e eficientes para os problemas relacionados ao pavimento.

Conforme a Figura 3.1, o SGP é constituído por quatro componentes: planejamento, projeto, construção e manutenção – que interagem mutuamente com fatores externos, como os recursos orçamentários, o banco de dados necessário e as diretrizes políticas e administrativas.

Figura 3.1 – Estrutura de um Sistema de Gerência de Pavimentos



Fonte: DNIT (2011)

De acordo com Gonçalves, 1999 *apud* Berbel, 2016, o planejamento estabelece as prioridades, desenvolvidas através de cronogramas para as intervenções no pavimento, dentro das restrições orçamentárias e das recomendações normativas. Assim, o estabelecimento de atividades de conservação e restauração adequadas e oportunas são essenciais para a proteção do investimento feito e para a preservação da qualidade oferecida aos usuários.

Um SGP pode ser estruturado em quatro atividades básicas, que dizem respeito à área de planejamento, conforme mostrado Figura 3.2:

Figura 3.2 – Atividades básicas do SGP



Fonte: Autoria própria.

A Avaliação dos Pavimentos consiste na análise de vários aspectos como os mostrados na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Fatores analisados na Avaliação dos Pavimentos



Fonte: Autoria própria.

Segundo Gonçalves, 1999 *apud* Berbel, 2016, as informações sobre segurança e acidentes, quando relacionadas à condição e ao desempenho dos pavimentos, também devem ser levadas em consideração no processo para determinar quando e qual tipo de intervenção deve ser feita.

3.2 Implantação do SGP

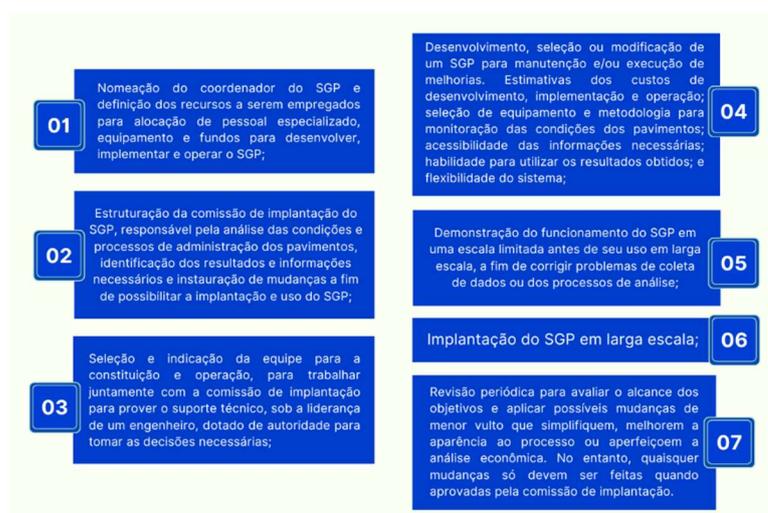
De acordo com DNIT (2011), um SGP deve ser tão prático quanto possível. O SGP pode ser de aplicação manual ou automatizada, baseada na prática ou tecnicamente otimizada. É um sistema dinâmico, suficientemente flexível para permitir a inclusão de melhorias e modificações pontuais.

Mudanças de grande vulto ou que afetem significativamente as necessidades básicas de informações, os modelos de previsão, a análise econômica e os tipos de relatórios necessários não devem ser feitas em um período inferior a cinco anos, quando deve ser feita avaliação das melhorias necessárias para um SGP satisfatório.

Para a execução das análises econômicas necessárias, o DNIT utiliza o HDM-4 (*Highway Development and Management*), conceituado sistema desenvolvido em grande parte a partir de pesquisas feitas no Brasil, que permite a geração de relatórios que cobrem todas as necessidades de análise, inclusive determinação dos investimentos ao longo do período de aplicação.

Como mostrado na Figura 3.4, são necessárias 7 etapas para o desenvolvimento e implementação de um SGP:

Figura 3.4 – Etapas para a implantação de um SGP



Fonte: Autoria própria.

A administração da Gerência de Pavimentos (GP) tem um papel crítico no desenvolvimento do sistema viário, através de padrões técnicos, políticas de atribuição de recursos, problemas sociais, do meio ambiente e da legislação em vigor.

Segundo Hudson, 1987 *apud* Páez e Fernandes Júnior, 2013, toda cidade possui algum método de administração da malha viária – ainda que não sejam métodos formalizados –, que variam de acordo com os projetos, o tamanho da cidade, a extensão da malha, o orçamento, a experiência dos profissionais, as cargas e o volume do tráfego. Além disso, também deve ser considerada a influência dos materiais utilizados, das técnicas construtivas e das alternativas para a manutenção e reabilitação.

3.3 Conceitos Básicos

Para a construção do banco de dados do SGP, deve ser feita a inserção de dados históricos do pavimento. Conforme DNIT (2006) e DNIT (2011), a maioria das vias possui uma linha do tempo, como mostrado na Figura 3.5:

Figura 3.5 – Linha do tempo de uma via



Fonte: Autoria própria.

A Implantação é a etapa inicial da construção da via, na qual são empregadas as soluções técnicas mais econômicas possíveis, tornando-a muito similar a uma estrada vicinal. Pavimentação é a etapa na qual a via recebe maior investimento técnico, de acordo com o fim a que se destina, já permitindo o rolamento de maiores volumes de tráfego.

Segundo Silva, 2008 *apud* Berbel, 2016, Manutenção pode ser definida como uma tarefa efetuada com intuito de manter o pavimento o mais próximo possível da sua condição original, sob condições habituais de tráfego e temperatura. Atividade de maior monta, a Manutenção é

programada e desenvolvida sistematicamente em determinados períodos da vida de serviço da via, objetivando dotá-la de condições adequadas, de serventia e segurança, a fim de oferecer ao usuário um tráfego permanentemente econômico, confortável e seguro.

Especificamente quanto ao pavimento, a manutenção constitui-se de atividades de restauração, que visam melhorar periodicamente suas condições estruturais e funcionais. A manutenção compreende três tipos de intervenções: a) Melhoria; b) Conservação; e c) Recuperação, Restauração e Reabilitação.

Balbo (2007) define algumas estratégias de manutenção de acordo com o tipo de intervenção no pavimento, conforme Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Definição de estratégias de manutenção

Tipo de intervenção	Definição
Manutenção de rotina	Reparos localizados em pavimentos; limpeza; remoção de detritos, terra ou neve
Manutenção periódica	Atividades relacionadas ao melhoramento de condições superficiais com vistas à preservação da integridade estrutural e da qualidade de rolamento *com uso de reforços esbeltos em concreto asfáltico, tratamento superficial, lama asfáltica ou ainda banhos selantes
Reabilitação	Reparos seletivos, reforços estruturais ou aplicação de camadas de regularização com a finalidade de restaurar a capacidade estrutural do pavimento ou a qualidade do rolamento
Reconstrução	Renovação da estrutura de pavimento com remoção da estrutura danificada como resultado de negligência prolongada que resulta na impossibilidade de reabilitar o pavimento
Restauração	Quando para um mesmo projeto serviços de reabilitação e de reconstrução são contemplados simultaneamente
Melhoramento	Quando, além de atividades relacionadas às anteriores são presentes, o projeto contempla também serviços de duplicação, melhoria de traçado, ampliação, etc., exigindo a construção de novos pavimentos

Fonte: Balbo (2007).

O Melhoramento objetiva o atendimento de demandas operacionais e contempla especificamente, o sistema de sinalização e de segurança do tráfego e/ou a geometria da via. É dividido em dois grupos: complementação e modificação. Abrange uma enorme gama de intervenções, efetuadas com o objetivo de adequar a via às necessidades constatadas ao longo de sua vida de serviço, dotando-a de componentes novos e/ou mais modernos. Os principais serviços são: duplicação, implantação de terceira faixa, adequação e aumento da capacidade, alargamento da plataforma e implantação de dispositivos de segurança.

A Conservação é a etapa em que são executadas intervenções com o objetivo de preservar as características técnicas e físico-operacionais do sistema rodoviário e das instalações físicas. Tais ações devem ser programadas e continuamente executadas ao longo de cada um dos ciclos de vida do pavimento, mas tendem a se tornar antieconômicas quando alcançado ou ultrapassado o final de tal ciclo, oportunidade em que deve ser procedida a recuperação do pavimento. Conforme mostrado na Figura 3.6, a conservação existe em três modalidades: Corretiva Rotineira, Preventiva Periódica e de Emergência.

Figura 3.6 – Modalidades de Conservação



Fonte: Autoria própria.

A recuperação, restauração e reabilitação, constituem na etapa que se refere às intervenções que objetivam elevar qualitativamente os componentes já existentes. A recuperação se refere aos atributos funcionais e estruturais do pavimento, a fim de que suas características técnicas sejam restabelecidas.

Portanto, o processo de recuperação se dá através da execução de intervenções físicas ordinariamente aplicadas, as chamadas de restauração e/ou reabilitação do pavimento. Assim, a expressão “restauração e reabilitação do pavimento” é a mais eficaz designação genérica das obras e serviços de recuperação do pavimento, uma vez que o grau de deterioração de um trecho a ser recuperado define um perfil de soluções que envolvem a execução de recapeamento e a reconstrução do pavimento.

Segundo Nishiyama e Domingues, 1995 *apud* Berbel, 2016, os benefícios advindos da recuperação das vias incluem: a redução dos acidentes de trânsito, de custos operacionais e a redução futura de custos nas estradas; economia no tempo de transporte; estímulo ao desenvolvimento econômico; aumento do conforto e comodidade de transporte; e maior efetividade na integração.

Os termos “restauração do pavimento” e “reabilitação do pavimento” possuem significados distintos, quando referidos a um trecho e a um segmento homogêneo, como evidenciado no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Restauração e reabilitação de pavimentos

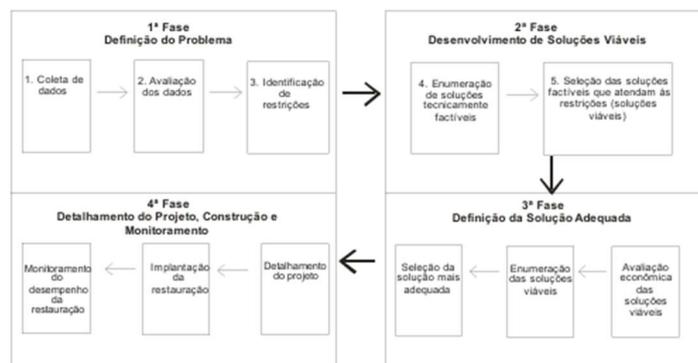
TERMO	TRECHO	SEGMENTO HOMOGÊNEO
RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO	Recuperação de um pavimento que se apresenta deteriorado, mas cujo grau de deterioração não compromete a sua habilitação.	Corresponde às soluções que envolvem o RECAPEAMENTO do pavimento.
REABILITAÇÃO DO PAVIMENTO	Recuperação de um pavimento que perdeu a sua habilitação devido à alta deterioração.	Corresponde às soluções que envolvem a RECONSTRUÇÃO do pavimento.

Fonte: Autoria própria.

Conforme DNIT (2006), a restauração, quando se refere a um trecho, trata-se de um pavimento em um estágio de deterioração que ainda não é qualificado como crítico. Entretanto, quaisquer medidas de conservação, de caráter preventivo e/ou corretivo, são tidas como ineficazes e/ou antieconômicas.

Neste caso, a recuperação ocorre no momento certo, dentro ou próximo do estágio final do ciclo de vida do pavimento, aferido por parâmetros temporais e/ou índices de desempenho. Por outro lado, a reabilitação é adotada quando tais parâmetros ou índices determinam um pavimento que já ultrapassou o estágio final de seu ciclo de vida, apresentando anomalias com tendências irreversíveis. A Figura 3.7 apresenta as etapas constituintes do processo de restauração.

Figura 3.7 – Etapas do processo de restauração



Fonte: DNIT (2006).

Em casos que exijam restauração, o recapeamento do pavimento é a modalidade de intervenção mais indicada, o qual consiste na adequada sobreposição ao pavimento existente, de uma ou mais camadas de mistura betuminosa e/ou concreto de cimento Portland. Tal

sobreposição conferirá ao pavimento existente adequado suporte estrutural, mantendo-o assim apto a exercer, em continuidade, um novo ciclo de vida, em conformidade com as premissas técnico-econômicas.

A reconstrução do pavimento é um tipo de intervenção que tende a ser predominante à medida em que a defasagem entre o estágio final de seu ciclo de vida e a efetiva execução das obras de recuperação aumenta. A reconstrução consiste na remoção parcial ou total do pavimento. Nesta última, a espessura total a ser removida e substituída atinge toda a espessura do pavimento, e, em alguns casos, até o subleito.

Subsequentemente, é realizada a execução de novas camadas estruturais, cujas naturezas, constituições e especificações devem estar de acordo com os atributos das áreas adjacentes do pavimento remanescente. Assim, o novo revestimento possuirá suporte adequado para que o pavimento esteja apto a exercer um novo ciclo de vida.

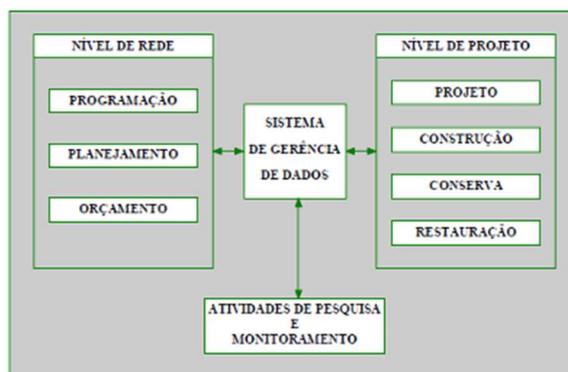
Outro termo conhecido é a reciclagem do pavimento, processo que consiste na regeneração do pavimento flexível betuminoso através do reaproveitamento de seus componentes: agregados e ligante asfáltico. A reciclagem permite um ciclo de vida infinito ao pavimento original, poupando também os recursos naturais. Em relação ao recapeamento, constitui-se uma alternativa mais econômica e ecológica, com um custo inferior. A reciclagem é comumente precedida da fresagem ou perfilagem, atividade que consiste na remoção da camada betuminosa.

Embora comumente utilizados, os termos: remendo, reparo e reparação não possuem definição específica, uma vez que dizem respeito a uma gama de serviços de conservação que podem contemplar, além do pavimento, os demais componentes da infraestrutura da via.

3.4 Níveis de Decisão de um SGP

Berbel (2016) destaca que a estrutura do SGP depende da organização local de implantação. Segundo o DNIT (2011), o processo decisório de um SGP opera em nível de rede e em nível de projeto, conforme esquema mostrado na Figura 3.8.

Figura 3.8 – Níveis de decisão de um SGP



Fonte: Gonçalves, 1999 *apud* Berbel, 2016

A gerência em nível de rede indica os trechos prioritários da malha rodoviária que devem ser objeto de investimentos em manutenção, de modo que os recursos públicos alocados para um determinado período tenham o melhor retorno econômico. Como esse nível visa o conhecimento da malha viária como um todo, a quantidade prevalece sobre o detalhe, ou seja, a coleta de dados, como fonte primária de embasamento das análises para tomada de decisão e destinação dos recursos, é o componente mais representativo dos custos do SGP. Portanto, as informações devem ser simples, atuais, confiáveis e objetivas, além de colhidas no menor período possível, a fim de maximizar a condição média da rede.

Assim, além do custo aproximado, são definidas: a estratégia escolhida para indicar a atividade mais apropriada; a seleção das seções prioritárias; e a melhor época para execução dos serviços de Manutenção e Restauração, ou seja, o que fazer, como e quando, o que permite a elaboração de um Programa Plurianual de Investimentos, onde estarão indicados os projetos contemplados e as obras que serão realizadas em médio prazo.

A gerência em nível de projeto é uma complementação do nível de rede, pois envolve uma visão aprofundada, direcionada para estudos em trechos específicos situados na malha viária e que foram priorizados nas decisões em nível de rede. Se baseia em atividades detalhadas do próprio projeto e da execução de obras no trecho, em que tais atividades subsidiam orçamentos e programas de curto prazo.

Para tanto, é necessária a obtenção do diagnóstico de todos os trechos do pavimento, que é feito com base em estudos das condições operacionais, funcionais e estruturais das camadas do pavimento, por meio de levantamentos e ensaios. Tais avaliações possibilitam determinar as causas da deterioração e a seleção das estratégias mais adequadas para a manutenção. Conforme

Loprencipe *et al.*, 2017 *apud* Pinatt *et al.*, conhecer a condição do pavimento em cada trecho é uma etapa importante no processo de gestão.

Na gerência em nível de projeto, são definidas as quantidades dos serviços, os benefícios de melhorias e prolongamento da vida útil do pavimento, advindos das diferentes alternativas de intervenção. As decisões são administrativas, técnicas e econômicas e estabelecem as necessidades, as prioridades, as estratégias e os custos.

A Figura 3.9 apresenta o fluxograma de um SGP, onde, inicialmente, são definidas e identificadas as seções ou segmentos dos pavimentos para análise. Posteriormente, é feito o levantamento das condições do pavimento, por meio do qual se obtêm dados sobre as características físicas, o estado de deterioração, as extensões e os níveis de severidade de cada seção.

Figura 3.9 – Fluxograma de um SGP estratégias de M&R



Fonte: DNIT (2011)

Assim, a análise em nível de rede aponta as estratégias de manutenção e reabilitação e, conseqüentemente, a análise em nível de projeto define as atividades de manutenção, o dimensionamento de reforços e da restauração. Em seguida, é realizada a análise econômica, que contempla fatores políticos, econômicos e sociais. Por último, são estabelecidas as prioridades, de forma a otimizar a aplicação dos recursos, através da minimização dos custos sob restrições orçamentárias e da maximização dos benefícios.

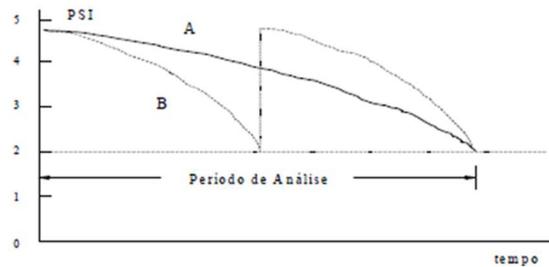
Portanto, a otimização do SGP está diretamente relacionada à integração técnica e administrativa entre os níveis de decisão, embora o tamanho da rede e o nível de detalhamento sejam inversamente proporcionais, o que torna a integração mais complexa. Ou seja, se a rede aumenta, o nível de detalhamento tende a diminuir, e vice-versa.

3.5 Análise Econômica

Segundo Rodrigues, 2007 *apud* Berbel, 2016, muitas vezes, o SGP precisa definir a melhor alternativa em termos econômicos. Esta análise deve levar em conta a conveniência do uso de técnicas de pavimentação geralmente empregadas diante de novas soluções e as incertezas quanto ao crescimento do tráfego estimado para o período de projeto.

No entanto, a análise econômica de projetos de pavimentação geralmente se concentra apenas no custo inicial da construção da estrutura do pavimento. Como mostrado nas curvas da Figura 3.10, o custo para projetar um novo pavimento é mais alto, a fim de atender a serventia mínima desejada sem a necessidade de intervenções futuras (curva A). Por outro lado, para restaurar um já existente, admite-se a necessidade de reforço ou restauração futura, ainda que haja uma economia inicial (curva B).

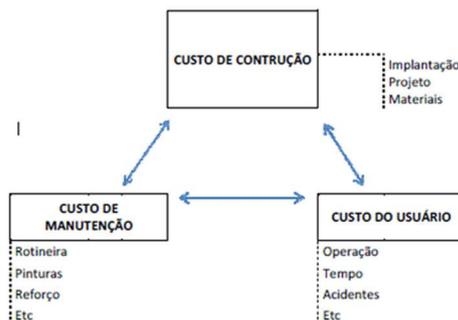
Figura 3.10 – Curvas de desempenho de alternativas de projeto



Fonte: Rodrigues, 2007 *apud* Berbel, 2016

Contudo, de acordo com Motta, 1995 *apud* Berbel, 2016, o ideal é analisar o custo global do pavimento (Figura 3.11) a fim de minimizar ao máximo o custo total no seu ciclo de vida, composto pelos custos de construção inicial, pelas conservações recorrentes durante o período de projeto e a restauração ao final do período.

Figura 3.11 – Aspectos do Custo Global do Pavimento



Fonte: Motta, 1995 *apud* Berbel, 2016

No entanto, atrasos nas atividades de manutenção e reabilitação quase sempre resultam em gastos adicionais e podem representar um custo global ainda mais alto. A GP deve integrar a avaliação dos pavimentos com o calendário das atividades de manutenção a fim de impedir que as estruturas do pavimento sofram deteriorações aceleradas devido aos adiamentos das intervenções.

3.6 Análise das Condições do Pavimento

Segundo Hudson, 1987 *apud* Páez e Fernandes Júnior, 2013, a eficácia de um SGP não está diretamente relacionada com a complexidade do método usado na análise da condição do pavimento. Técnicas simples, mas metodologicamente mais bem elaboradas, são preferíveis aos sistemas complexos.

Para Shahin (2005), uma característica importante de um SGP é a capacidade de determinar tanto a condição atual de uma rede de pavimentos quanto prever sua condição futura. Assim, para prever a condição do pavimento de forma confiável, deve-se dispor de um sistema de classificação objetivo e repetível.

Conforme Stantec (2020), os dados de condição do pavimento são fundamentais para qualquer análise na GP. A deterioração do pavimento, a qualidade e os testes estruturais fornecem conjuntos importantes de dados para determinar os custos de manutenção da rede rodoviária. Além disso, manter os dados atualizados continuamente é a única maneira verdadeira de medir o desempenho de uma rede rodoviária ao longo do tempo.

A análise das condições do pavimento depende de seu desempenho operacional, estrutural e funcional, da região e de recursos disponíveis como: materiais, técnicos e financeiros. De acordo com Rodrigues, 2007 *apud* Berbel, 2016, o desempenho do pavimento depende de inúmeros fatores, cujos efeitos se interrelacionam, como mostrado na Figura 3.12.

Figura 3.12 – Fatores que influenciam no desempenho do pavimento



Fonte: Autoria própria

De acordo com APS *et al.* (1998), além da irregularidade superficial, que denota a qualidade operacional do pavimento, outros fatores relevantes são: a resistência à derrapagem e o potencial de hidroplanagem; a necessidade de manutenção; e a integridade e a capacidade estruturais. A integridade estrutural define quão bem o pavimento permanece íntegro sob ação do tráfego, enquanto a capacidade denota a carga máxima que o pavimento pode suportar sem sofrer ruptura.

3.6.1 Condições operacionais

O tráfego incidente nas rodovias constituintes de uma malha viária é um dos fatores mais relevantes na implementação de um SGP quanto às condições operacionais, tendo em vista sua importância na análise da rede e na priorização dos investimentos. A solicitação do tráfego sobre uma rodovia é expressa pelo Número N, quando a análise é feita em termos da carga atuante e pelo Volume Médio Diário Anual de Tráfego (VMD), quando a análise é feita em termos de capacidade de tráfego, ou por ambos.

O Número N expressa o número de repetições de cargas equivalentes ao eixo simples de rodas duplas de 8,2 tf, o denominado eixo padrão, e determina as necessidades estruturais dos pavimentos para um certo período de solicitação do tráfego. O VMD indica a quantidade total de veículos que diariamente demanda um determinado segmento rodoviário em um sentido, ou seja, é um parâmetro determinante das necessidades da rodovia em termos de capacidade de tráfego, muito embora seja também utilizado para o cálculo do Número N.

Outro fator importante, utilizado para determinação do tráfego futuro, é sua taxa de crescimento anual. Essa taxa é obtida, mediante considerações de natureza econômica, que procuram definir as demandas de tráfego que solicitarão determinado segmento rodoviário, mediante sua aplicação ao VMD atual.

3.6.2 Condições estruturais

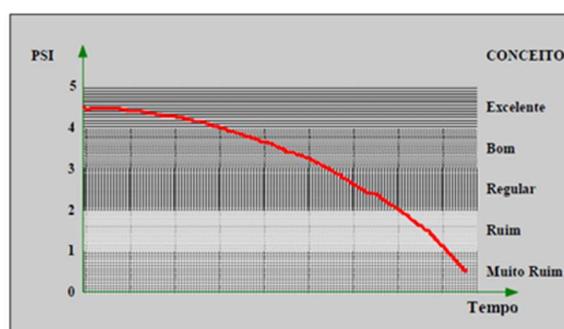
A avaliação estrutural de um pavimento está associada ao conceito de capacidade de carga, que pode ser vinculada diretamente ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento. Segundo Gonçalves, 1999 *apud* Berbel, 2016, o desempenho estrutural do pavimento em projeto é o tempo em que o pavimento resiste aos defeitos existentes e ao acúmulo de deformações plásticas, quando submetido ao tráfego esperado.

Tais defeitos ocorrem devido à repetição das cargas e estão associados às deformações elásticas e plásticas. Segundo DNIT (2011), as deflexões ou deslocamentos verticais são deformações elásticas, medidas por deflectômetros, responsáveis pelo surgimento da maioria dos trincamentos ao longo do tempo de serviço do pavimento, que podem ocasionar a fadiga do revestimento. Por outro lado, se acumuladas durante a vida útil do pavimento, as deformações plásticas resultam em defeitos permanentes, do tipo afundamento localizado nas trilhas de roda.

3.6.3 Condições funcionais

A avaliação funcional é a determinação do desempenho funcional do pavimento, que é a variação da serventia ao longo do tempo. Assim, o desempenho diminui ao longo da vida útil, conforme apresentado no gráfico da Figura 3.13:

Figura 3.13 – Desempenho do pavimento ao longo do tempo



Fonte: Gonçalves, 1999 *apud* Berbel, 2016

A avaliação funcional compreende um conjunto de atividades destinadas à obtenção de dados e parâmetros que permitam detectar as necessidades atuais e futuras de manutenção do pavimento, por meio das quais obtêm-se o diagnóstico do estado da superfície do pavimento e de como este estado influencia na segurança, no conforto e na qualidade do rolamento, referindo-se à capacidade do pavimento de fornecer superfície com serventia adequada. A avaliação funcional é apresentada através do índice de serventia, por meio do qual conceitos são atribuídos quanto à severidade e à intensidade dos defeitos encontrados no rolamento do pavimento.

Nos EUA, utiliza-se dois métodos: o *Present Serviceability Ratio* (PSR) e o *Present Serviceability Index* (PSI). Enquanto o PSR é a avaliação subjetiva de conforto do rolamento do pavimento, o PSI é obtido através de correlações com defeitos da superfície ou com a irregularidade. No Brasil, dois parâmetros são comumente utilizados: o Valor da Serventia Atual (VSA) e o *International Roughness Index* ou Índice de Irregularidade Internacional (IRI).

3.6.3.1 Valor de Serventia Atual (VSA)

Criado em 1960 para as pistas experimentais da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) nos arredores da cidade de Ottawa, Illinois, o VSA é uma atribuição numérica subjetiva, compreendida em uma escala de 0 a 5. O VSA é obtido pela média de notas atribuídas por técnicos avaliadores para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em um determinado trecho, em um dado momento da vida do pavimento. Conforme expresso na Tabela 3.3, o VSA qualifica a serventia em cinco níveis, onde 0 indica um pavimento péssimo e 5 um pavimento excelente.

Tabela 3.3 – Níveis de serventia

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

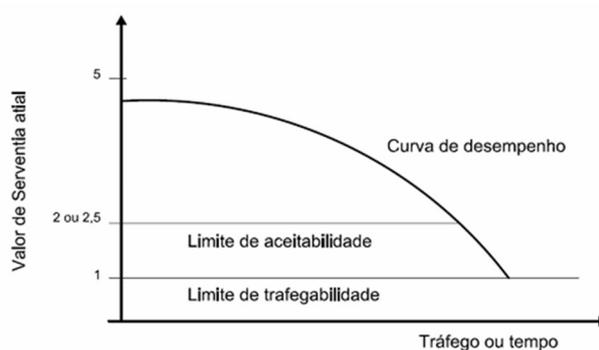
Fonte: DNIT (2011)

Entretanto, dificilmente um pavimento recém-construído obterá nota 5, que representa um pavimento classificado como perfeito, sem qualquer irregularidade. Nas pistas

experimentais da AASHTO, por exemplo, as pontuações VSA obtidas foram 4,2 e 4,5, para pavimentos asfálticos e de concreto de cimento Portland, respectivamente. Contudo, devido ao aprimoramento das técnicas construtivas, as notas estão cada vez mais próximas de 5. Para efeito de avaliação, todo pavimento recém-construído possui nota 5, considerando-se que foi projetado e executado da melhor forma possível. Logicamente, ao longo de sua vida útil, o pavimento tende progressiva e continuamente a perder sua qualidade devido ao tráfego e à ação das intempéries, e, portanto, apresenta valores de serventia cada vez menores.

Segundo Páez e Fernandes Júnior, 2013, a construção é considerada o marco teórico do pavimento, onde se inicia o período da deterioração ou consumo da vida útil. O gráfico apresentado na Figura 3.14 apresenta a relação entre a curva de serventia e o tempo decorrido de utilização da via e indica os limites de aceitabilidade e trafegabilidade.

Figura 3.14 – Gráfico de Desempenho do Pavimento

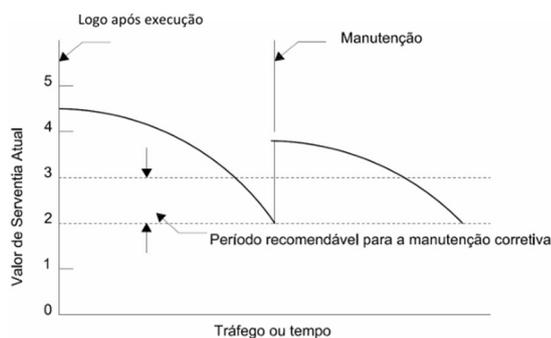


Fonte: DNIT (2011)

Para os usuários, há um limite de aceitabilidade das condições de rolamento do pavimento, abaixo do qual o nível de conforto passa a ser inaceitável devido ao ponto crítico alcançado pela estrutura do pavimento, o que a torna totalmente comprometida. Este limite depende da categoria da rodovia e do tráfego. Em 1993, a AASHTO, através do guia de dimensionamento de pavimentos americano introduziu o critério de resistência e o critério de serventia para o dimensionamento das estruturas de pavimento. Esse método definiu um limite de aceitabilidade de 2,5 para vias de alto volume de tráfego e 2,0 para as demais. Sempre que o VSA atingir estes valores, uma intervenção de manutenção corretiva deve ser realizada, como por exemplo o recapeamento, de modo a repor o índice a um valor superior. Se VSA estiver acima deste valor, deve-se realizar manutenção preventiva periódica. Do contrário, o pavimento deve ser reconstruído devido por atingir o limite de trafegabilidade. No entanto, se o valor estiver abaixo dos limites aceitáveis, os custos de remediação serão demasiadamente altos. Este

limite depende dos padrões estabelecidos, estando geralmente próximo ao VSA igual a 1,0, conforme Figura 3.15. Após manutenção corretiva, o valor da serventia eleva-se novamente, podendo atingir valores menores, iguais ou maiores que o da serventia inicial do pavimento.

Figura 3.15 – Período recomendável para a manutenção



Fonte: DNIT (2011)

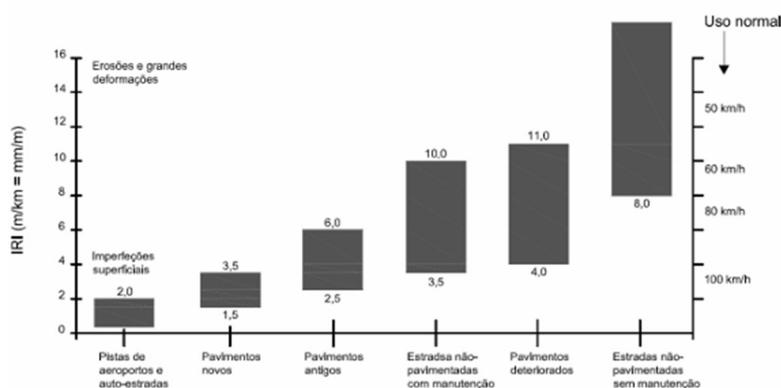
Atualmente, o VSA tem sido substituído pelo Levantamento Visual Contínuo da Superfície de Pavimento Flexível e Semirrígido (LVC), nos trechos onde ocorre este tipo de revestimento. O LVC determina o Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis (ICPF), semelhante ao VSA, além de proporcionar os elementos necessários para a avaliação do Índice de Gravidade Global (IGG), com informações necessárias para uso no HDM-4.

3.6.3.2 International Roughness Index (IRI)

Expresso em m/km, o IRI é um índice estático, obtido por meio de medições de irregularidade longitudinal, característica do pavimento que mais afeta a avaliação dos usuários, que quantificam a qualidade do rolamento. Segundo DNIT (2011), o IRI é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico, que afeta a dinâmica dos veículos, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via.

Conforme a Figura 3.16, a irregularidade longitudinal é medida ao longo de uma linha imaginária, paralela ao eixo da estrada e, em geral, coincidente com as regiões de trilhas de roda, podendo, em alguns casos, haver o interesse de melhor detalhar o perfil, levantando-o em diversas linhas paralelas imaginárias. A linha de levantamento longitudinal possui uma largura variável de alguns milímetros a centímetros, o que depende do tipo de equipamento empregado.

Figura 3.16 – Faixas de variação do IRI em diversas situações



Fonte: DNIT (2011)

Um dos primeiros equipamentos para a determinação do IRI foi o perfilógrafo do Departamento de Transporte de *Illinois*, da década de 1920. Atualmente, a irregularidade pode ser levantada com medidas topográficas ou por equipamentos medidores do perfil longitudinal com ou sem contato, ou ainda indiretamente avaliada por equipamentos do tipo resposta, que fornece um somatório de desvios do eixo de um veículo em relação à sua suspensão.

Segundo Balbo, 1997 *apud* Berbel, 2016, as patologias funcionais, combinadas às irregularidades da superfície, representam o fator mais importante no decréscimo da serventia, decrescendo o tempo de vida útil de serviço de um pavimento.

De acordo com DNIT (2006), a avaliação funcional considera o levantamento visual contínuo do trecho em questão, objetivando a avaliação da superfície de rolamento do pavimento existente, levantando as irregularidades na superfície longitudinal do pavimento e realizando simultaneamente o cadastro dos reparos superficiais e profundos, informando: as características gerais do local estudado; apresentando registro fotográfico; elaborando descrição detalhada dos procedimentos utilizados; análise de resultados obtidos; e cadastro contínuo de reparos superficiais e profundos existentes.

4. MÉTODO PCI

4.1 Definição e Objetivo

Segundo Stantec (2020), é recomendável que as avaliações de condições do pavimento sejam conduzidas a cada três ou quatro anos, a fim de rastrear a condição e a deterioração das ruas da cidade ao longo do tempo através de dados confiáveis. Portanto, conhecendo-se as condições atuais e as tendências das ruas pode-se obter uma indicação verdadeira sobre a eficácia dos programas anuais de manutenção e reabilitação das ruas.

Conforme Vieira *et al.* (2016), existem métodos de avaliação de pavimentos asfálticos que permitem saber a real condição da superfície do pavimento asfáltico, através da qual se definem as melhores ações preventivas ou a restauração da via.

Segundo Bertollo, 1997 apud Páez e Fernandes Júnior, 2013, muitos órgãos rodoviários, urbanos e aeroportuários responsáveis pelo SGP costumam utilizar os índices de condição do pavimento como únicos indicadores de qualidade. Às vezes, esses índices constituem a base primária para a seleção de estratégias de preservação e reabilitação do pavimento.

No entanto, a existência de múltiplos índices pode fazer com que o processo de tomada de decisão em um SGP se torne deficitário ou ineficiente. Desta forma, faz-se necessária a adoção do melhor índice, dentre os quais se incluem:

- *Pavement Condition Index* (PCI);
- Índice Global de Degradação (IGD);
- Índice de Gravidade Global (IGG);
- Índice de Serventia *Paragon* (ISP);
- *Pavement Condition Rating* (PCR); e
- *Pavement Distress Index* (PDI).

Segundo Albuquerque (2017), para que esses índices possam ser utilizados, eles precisam ser ajustados para as condições locais. Para Vieira *et al.* (2016), a escolha de um índice deve considerar as características e as peculiaridades dos pavimentos em estudo, bem como os objetivos a serem alcançados. Assim, a eficiência é variável, pois depende do grau de detalhamento e do número de variáveis, o que, conseqüentemente, elevam os custos da avaliação.

Dentre estes, dois métodos se sobressaem: o Índice de Gravidade Global (IGG) e o *Pavement Condition Index* (PCI) ou Índice de Condição do Pavimento (ICP). O IGG caracteriza o grau de degradação superficial, resultante do levantamento dos defeitos da superfície,

quantificando-os e classificando-os, incluindo a medição das profundidades dos afundamentos nas trilhas de rodas. Ou seja, o IGG expressa o estado geral de um pavimento em função da incidência de defeitos. É um procedimento que visa avaliar a condição de superfície de pavimentos por meio de trechos homogêneos. O IGG é bastante conhecido no Brasil, enquanto o PCI é utilizado principalmente nos Estados Unidos e é mais voltado para estudos e pesquisas na Gerência de Pavimentos. Segundo Vieira *et al.* (2016), que compararam os dois métodos, o PCI foi considerado mais completo e preciso. Apesar de não ser um procedimento trivial, uma vez que exige maior aparato para que o levantamento seja feito de forma satisfatória, além da demora na coleta manual de dados em campo, o avanço das tecnologias permite a coleta automatizada de dados, o que torna o método passível de ser usado em um SGP, em substituição ao IGG e a outros métodos.

Segundo Rijal e Medis (2019), o PCI é um método de avaliação das condições do pavimento desenvolvido em 1976 por Shahin *et al.* Segundo APS *et al.* (1998), o método foi desenvolvido no *Construction Engineering Research Laboratory* (CERL) e publicado pelo *U.S Army Corps of Engineers* (USACE) em julho de 1979 através do documento CERL-TR-M-268.

Para Shahin (2005), autor do método, o objetivo do PCI é fornecer um índice da integridade estrutural do pavimento e condição operacional da superfície, além de uma base para determinar as necessidades de manutenção e reabilitação e prioridades para o pavimento por meio de comparação do estado de diferentes trechos. Também é possível prever o desempenho do pavimento mediante determinação periódica do PCI.

Segundo APS *et al.* (1998), o PCI foi desenvolvido para pavimentos asfálticos e de concreto de cimento Portland simples e armado para veículos de pneus e reboques, e tendo validado somente para vias de baixa velocidade.

De acordo com UCPRC (2021), o PCI foi criado devido à necessidade de priorizar e organizar a manutenção e reabilitação de aeródromos antigos. À época, havia sido constatado que os sistemas de avaliação de aeródromos existentes tinham uma série de deficiências, tornando-os subjetivos, uma vez que tratavam diferentes defeitos da mesma maneira.

Posteriormente, segundo Shahin (2005), o PCI foi ampliado para aeroportos, rodovias, vias urbanas e estacionamentos e recebeu ampla aceitação, tendo sido formalmente adotado como procedimento padrão por diversas agências em todo o mundo, como a *Federal Aviation Administration* (FAA), o Departamento de Defesa dos EUA, a *American Public Works Association* e outras. Os PCIs para aeródromos e estradas também foram publicados pela ASTM nas normas D5340 e D6433, respectivamente.

Segundo Boyapati e Kumar (2015), o PCI é uma representação da condição existente do pavimento que está relacionada à condição da superfície do pavimento e sua integridade. Ou seja, o PCI foi desenvolvido para fornecer uma métrica empírica para classificar a condição de uma seção de pavimento de maneira que capturasse e ponderasse o espectro completo de suas patologias, ao mesmo tempo em que assegurava que diferentes inspetores obtivessem os mesmos resultados.

Conforme MTC (2024), FAA PAVEAIR (2024) e *City and County of San Francisco* (2024), o PCI fornece um diagnóstico instantâneo da saúde do pavimento, o que inclui as condições funcionais reais da via e os registros de histórico de manutenção ao longo dos anos. Além disso, o histórico de PCI de uma seção de pavimento pode ajudar a estabelecer sua taxa de deterioração e identificar futuras reabilitações.

Segundo *City and County of San Francisco* (2024), os valores de PCI são importantes para priorizar, financiar e executar manutenção e reabilitação do pavimento, uma vez que seu objetivo é fornecer ao SGP, ao público e aos demais órgãos competentes uma classificação padronizada das ruas da cidade, permitindo um melhor desenvolvimento estratégico e a destinação efetiva de recursos financeiros.

Segundo Pinatt *et al.* (2024), os trechos que precisam de reparos são identificados mais rapidamente, o que agiliza o processo de tomada de decisão. De acordo com Fernandes Júnior e Bertollo, 1997 *apud* APS *et al.*, 1998, o PCI também ajuda a determinar o Índice de Prioridade, utilizado na GP em nível de rede.

De acordo com Lopes *et al.* (2015) *apud* Pinatt *et al.* (2024), uma alternativa que pode ajudar no programa de gestão é a criação de um banco de dados composto por elementos georreferenciadas por coordenadas espaciais dentro de um Sistema de Informação Geográfica ou Geographic Information System (GIS).

O GIS é capaz de gerar atualização constante das condições dos pavimentos, através da coleta, armazenamento, edição, análise e visualização gráfica de dados, além dos resultados de informações cruzadas. É possível integrar os dados do pavimento, rede de abastecimento de água, rede de esgoto, energia elétrica e outros que possam interagir em conjunto. Dessa forma, incluir um GIS no SGP é uma forma de facilitar e agilizar o processo de gestão de pavimentos.

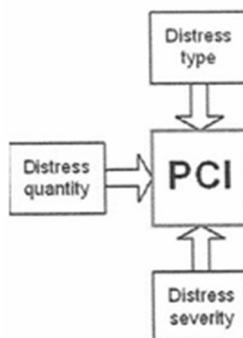
4.2 Cálculo do PCI

Segundo a FAA PAVEAIR (2024), o PCI é calculado com base nas patologias observadas durante as pesquisas ou inspeções. Essas informações são usadas para determinar as deduções adequadas e para calcular os valores de PCI de uma seção de pavimento.

As 19 patologias envolvidas no cálculo do PCI estão descritas no Capítulo 2 e detalhadas no Apêndice A. Shahin (2005) destaca que as patologias encontradas fornecem *insights* sobre as causas e se elas estão ou não relacionadas, por exemplo, à carga ou ao clima. Assim, torna-se impossível obter o PCI se qualquer um dos desgastes for negligenciado.

O PCI é um método do tipo objetivo para avaliação visual de pavimentos, em função do tipo, da extensão e a severidade ou gravidade das patologias encontradas em um determinado local de estudo, conforme mostrado no esquema da Figura 4.1. Outros autores incluem o critério da frequência ou distribuição da ocorrência do defeito ao longo do trecho em estudo.

Figura 4.1 – Fatores que influenciam no cálculo do PCI



Fonte: Shahin (2005)

- A extensão está relacionada à área ocupada pela patologia, ou seja, o grau de influência no pavimento. Segundo Shahin (2005), as extensões podem ser medidas por área, por unidade ou por metro linear. Exemplos de medidas usadas para a extensão incluem o número ou o comprimento de fissuras lineares, o número de painéis observadas ou a área do pavimento afetada por fissuras couro de jacaré.
- A severidade ou gravidade é definida em termos da largura ou do grau de desgaste associado à condição. Um exemplo de medição de gravidade inclui a largura de uma fissura. A severidade das patologias do pavimento é classificada em três níveis: baixa (*low*), média (*medium*) e alta (*high*).

4.2.1 Valores de dedução

Segundo Shahin (2005), o grau de deterioração do pavimento é uma função do tipo de aflição, da gravidade da aflição e da quantidade ou densidade da patologia. Produzir um índice que levasse em conta todos os três fatores foi um desafio considerável. Para superar esse desafio, valores de dedução ou *Distress Deduct*, de 0 a 100 foram introduzidos como um tipo de fator de ponderação para indicar o impacto que cada combinação de patologia, nível de gravidade e extensão provoca na condição do pavimento.

Um valor de dedução 0 indica que uma patologia não tem efeito na integridade estrutural do pavimento e/ou na condição operacional da superfície, enquanto um valor de 100 indica uma patologia extremamente séria. Por exemplo, segundo Stantec (2020), defeitos do tipo estrutural, como fissuras de couro de jacaré, terão maior influência, ou seja, mais deduções, na pontuação do PCI, pois esses defeitos indicam que a estrada está perdendo a capacidade de suportar o tráfego atual e que há maior potencial para que a via se deteriore rapidamente.

Os valores de dedução foram desenvolvidos por Shahin com base em conhecimento profundo do comportamento do pavimento, contribuição de muitos engenheiros de pavimentação experientes, testes de campo e avaliação do procedimento e descrições precisas dos tipos de patologias e níveis de severidade.

4.2.2 Passo-a-passo

Segundo Shahin (2005), para se determinar o valor do PCI de uma seção de pavimento, a seção é primeiro dividida em unidades de inspeção, chamadas unidades de amostra. Uma unidade de amostra é uma porção convenientemente definida de uma seção de pavimento designada apenas para fins de inspeção. Para cada seção de pavimento inspecionada, recomenda-se que os esboços sejam mantidos mostrando o tamanho e a localização das unidades de amostra, pois poderão ser usados para realocar unidades de amostra em inspeções futuras. Em um sistema de gerenciamento computadorizado, esses esboços devem ser armazenados como imagens associadas à seção de pavimento.

Realiza-se uma pesquisa de condição identificando os tipos, porcentagem de área afetada e severidade de cada defeito, anotando-os em uma planilha. Para auxiliar na pesquisa, são necessários um topômetro ou distômetro manual ou trena para medir a extensão das patologias, e, se necessário, uma régua para medir a profundidade, um nível para medir a inclinação e giz para demarcar as seções. Após o levantamento, os dados são transportados para uma planilha de cálculo para a obtenção do valor do PCI do trecho.

Em posse dos dados, é possível obter as deduções através das curvas de valor de dedução, de acordo com o tipo, severidade e extensão da patologia, o que representará a influência que ela expressa sobre a condição do pavimento. Os valores de dedução são obtidos pelos ábacos extraídos de Shahin (2005) contidos no Anexo A, a partir do tipo, extensão e severidade da patologia. Somando-se os valores de dedução é possível obter o VTD (Valor Total de Dedução) para o pavimento em questão aplicando-se a Equação 1:

$$VTD = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{m_i} a(T_i, S_j, D_{ij}) \quad (1)$$

Onde:

p = número total de tipos de defeitos, para o pavimento analisado;

m_i = número de níveis de severidade para o i -ésimo tipo de defeito;

i = contador do tipo de defeitos;

j = contador dos níveis de severidade;

a = valor de dedução;

T_i = Tipos de defeitos;

S_j = níveis de severidade;

D_{ij} = densidade.

A densidade é a porcentagem da área total ou extensão de um tipo de gravidade em relação à área ou extensão total do trecho medido. Ou seja, a densidade é a relação entre a quantidade de defeitos e a área do pavimento em m^2 multiplicada por cem.

De posse do VTD, será necessário corrigi-lo em função da quantidade de defeitos encontrados no trecho considerado de acordo com o ábaco do Anexo B, desenvolvido por Shahin (2005). Deste modo, será obtido o Valor de Dedução Corrigido (VDC). A soma dos valores de dedução é corrigida com base no número e valor das deduções, e a soma corrigida é subtraída de 100 para se obter o PCI. Ou seja, o PCI final é calculado como a diferença entre 100 e o valor dedutível corrigido conforme a Equação 2:

$$PCI = 100 - VDC \quad (2)$$

4.3 Valor do PCI

O PCI da condição do pavimento é representado em uma escala de 0 a 100, conforme Figura 4.2, onde 0 é a pior condição possível e 100 é a melhor. O valor 100 (cem) representa um pavimento em bom estado, provavelmente uma estrada recém-pavimentada, com mais conforto de rodagem, enquanto 0 (zero) representa um pavimento degradado, em pior estado.

Figura 4.2 – Escala padrão do PCI



Fonte: FAA PAVEAIR (2024)

As fotos das figuras a seguir foram capturadas em várias ruas da cidade de Waseca, Minnesota (EUA), e mostram o aspecto visual dos diferentes níveis do PCI em pavimentos asfálticos:

- Na Figura 4.3, a via tinha sido pavimentada recentemente, e apresentava pouca ou nenhuma patologia.
- Na Figura 4.4, notam-se algumas fissuras leves.
- Na Figura 4.5, a superfície do pavimento está moderadamente envelhecida, com desgaste da capa asfáltica, aumento de fissuras reflexivas e leves sulcos.
- Já a superfície do pavimento mostrada na Figura 4.6 está visivelmente envelhecida, com a capa asfáltica bastante desgastada, além de apresentar fissuras longitudinais e transversais leves a moderadas e áreas isoladas de fissuras tipo couro de jacaré.
- Na Figura 4.7, percebe-se que quase 10% da área está afetada por couro de jacaré. Observa-se ainda a presença de remendos antigos e fissuras longitudinais e transversais moderadas e extensas.
- Na Figura 4.8, nota-se que quase 30% da área está afetada por couro de jacaré de severidade média a alta. Há remendos recentemente executados, fissuras de borda extensas e sulcos leves a moderados em toda a extensão da via.

Figura 4.3 – PCI = 99

PCI=86–100 (Excellent): 7th AVE SE (State Street S - 5th St SE)



Fonte: Stantec (2020)

Figura 4.4 – PCI = 80

PCI=71–85 (Good): 11th Ave SE (5th St SE – 12th St SE)



Fonte: Stantec (2020)

Figura 4.5 – PCI = 64

PCI=56–70 (Fair): 11th AVE NW (10th St NW – North State St)



Fonte: Stantec (2020)

Figura 4.6 – PCI = 50

PCI=41–55 (Poor): 5th STREET SW (Johnson Ave – 5th Ave SW)



Fonte: Stantec (2020)

Figura 4.7 – PCI = 30

PCI=26–40 (Very Poor): 10th AVE NE (7th St NE – 9th St NE)



Fonte: Stantec (2020)

Figura 4.8 – PCI = 22

PCI=10–25 (Serious): 26th AVE NE (State St N – City Limits)



Fonte: Stantec (2020)

Do ponto de vista do Nível de Serviço (*Level of Service*), relacionado ao desempenho do pavimento, o PCI também pode ser categorizado em três níveis: adequado, degradado e insatisfatório, conforme mostrado na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Valores de PCI conforme o Nível de Serviço

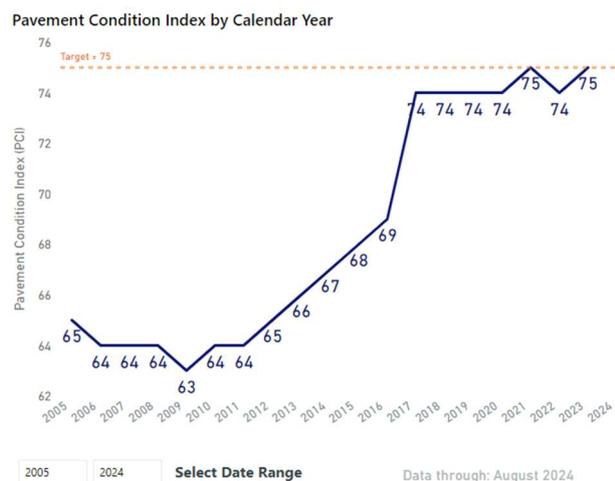
PCI Range	Level of Service Category
71 -100	Adequate
56 -70	Degraded
0 -55	Unsatisfactory

Fonte: Stantec (2020)

Diversos fatores afetam o PCI das vias de uma cidade: a idade do pavimento, o clima e precipitação, as cargas de tráfego e a disponibilidade de recursos financeiros para a manutenção. Segundo o MTC (2024), um empreendimento habitacional novo pode ter um PCI geral alto, enquanto uma área mais antiga e urbanizada pode ter um PCI geral muito menor, embora em ambos tenha sido feita manutenção adequada do pavimento. Entretanto, é inegável que cidades que fazem manutenção regular de seus pavimentos terão menores custos de manutenção a longo prazo e os recursos disponíveis poderão ser aplicados em outras necessidades.

A figura 4.9 representa o histórico das condições gerais dos pavimentos em São Francisco (EUA), resultado de observações realizadas ao longo de 18 anos.

Figura 4.9 – Histórico dos valores de PCI (2005 a 2023)



Fonte: City and County of San Francisco (2024)

Segundo UCPRC (2021), a grande desvantagem do PCI é que diferentes seções de pavimento podem ter o mesmo PCI ou valores semelhantes, mas tipos de desgaste muito diferentes, o que exige estratégias diferentes, uma vez que o PCI revela apenas os tipos de patologias presentes. Portanto, se apenas o PCI for usado, uma mesma estratégia de preservação ou reabilitação poderia ser aplicada para várias seções, sem considerar quais tipos de desgaste estão presentes ou suas gravidades e extensões.

Portanto, faz-se necessário examinar as patologias encontradas e seus efeitos na estrutura do pavimento, junto com outros dados disponíveis, para se definir a melhor estratégia para cada seção de pavimento. Um exemplo pode ser visto na Tabela 4.2, que apresenta duas seções com PCIs semelhantes.

Tabela 4.2 – Mesmo PCI, diferentes condições de pavimento

Section A: HEAVY VEHICLE TRAFFIC LOADING-RELATED DISTRESSES, PCI = 34			
DISTRESS	SEVERITY	EXTENT	DEDUCT VALUE
Alligator Cracks	High	1x6	18
Alligator Cracks	Medium	1x4 1x5 1x7	17
Potholes	Medium	3	48
Potholes	Low	3	30
Rutting	Low	2x5 2x8	10
Section B: AGE, CONSTRUCTION, UTILITIES, OTHER FACTOR-RELATED DISTRESSES, PCI = 32			
Long/ Transverse Crack	High	15x20 8x6 12x18 6x7	43
Long/ Transverse Crack	Medium	25x2 18x 13 9x10	20
Patching/ Utility	High	25x4 25x2	40
Patching/ Utility	Medium	12x6 4x7	20
Block Cracks	High	4x6 6x5	13

Fonte: UCPRC (2021)

Na Seção A as patologias estão relacionadas ao carregamento de tráfego pesado de caminhões e/ou ônibus e indicam que a estrutura do pavimento pode estar chegando ao fim de sua vida útil estrutural. As áreas com fissuras de couro de jacaré e painéis deverão ser removidas e substituídas. A formação de sulcos é baixa na seção, indicando que a água que passa pelas rachaduras ainda não causou o enfraquecimento da base ou subleito. Portanto, as estratégias a serem consideradas geralmente incluem moagem e aterro espesso ou sobreposição após o reparo das trilhas de rodas danificadas com escavações, reciclagem em profundidade total ou remoção e substituição do asfalto.

Por outro lado, as patologias na Seção B estão relacionadas à idade e indicam que a estrutura do pavimento é adequada, mas que sua superfície asfáltica oxidou severamente e tem fissuras de cima para baixo. Provavelmente o pavimento não teria chegado à essas condições se tivesse recebido tratamentos de preservação adequados.

Um tratamento de preservação não restaura nem melhora a estrutura do pavimento e não tem uma longa vida útil se comparado à outras estratégias, mas melhorará a função do pavimento e protegerá as camadas inferiores do asfalto da água. Além disso, a preservação pode ser mais econômica quando as avarias forem de cima para baixo e não se propagarem demasiadamente na estrutura do pavimento. Neste caso, poderia ser aplicado micro revestimento ou capa de vedação, precedidos de fresagem, e se necessário, o que inclui escavações e selagem de fissuras.

4.4 Coleta de Dados Automatizada

Segundo Shahin (2005), há vários tipos de tecnologias para uso na coleta automatizada de dados, como filme analógico contínuo de 35 mm, câmera digital e imagens de varredura. As tecnologias geralmente são montadas em veículos junto com equipamentos de perfilagem para determinar rugosidade, sulcos e falhas. Ao invés de amostras, são utilizados os *frames* capturados. Os dados coletados são visualizados em uma estação de trabalho no escritório e a interpretação é feita de forma manual, ainda que pesquisas estejam em andamento para conseguir interpretar automaticamente os tipos e as severidades das patologias.

Através do controle do ângulo e do grau de iluminação na superfície do pavimento para resolução máxima, o primeiro método permite identificar fissuras de 1 mm de largura. As imagens da superfície do pavimento são coletadas em uma escala de 1:200 usando fotografia contínua, através de uma câmera com abertura de 35 mm que cobre 4,9 m de largura.

Há ainda um controlador eletrônico, que sincroniza a velocidade do filme com a velocidade do veículo para que não haja perda de resolução devido às mudanças na velocidade do veículo, iluminação com luzes halógenas montadas no para-choque e uma câmera de pulso, que fotografa o perfil transversal da estrada em intervalos selecionados para que seja possível determinar a profundidade dos sulcos e o desnível do acostamento.

A tecnologia da câmera digital com varredura cobre 4,3 m de largura. As imagens são geralmente coletadas à noite, usando iluminação estroboscópica, e são armazenadas em um sistema de computador de bordo. Com resolução de 1300 x 1024 pixels, as imagens são “costuradas” através de um software para formar uma imagem contínua da superfície do pavimento.

A localização da imagem é controlada de perto por meio de georreferenciamento e um distance measuring instrument (DMI) (instrumento de medição de distância) altamente preciso. O processamento de dados é concluído no escritório usando o visualizador de imagens contínuo. Uma malha quadriculada é colocada sobre a imagem para auxiliar na quantificação das patologias.

4.4.1 Coleta de dados automatizada em Waseca (EUA)

Em 21 de abril de 2020, a empresa canadense Stantec realizou uma pesquisa de condição do pavimento na cidade de Waseca, Minnesota, (EUA), responsável pela manutenção e reabilitação de aproximadamente 78 milhas de faixas de estradas. A empresa utilizou o veículo *Road Tester 3000* (RT3000), conforme Figura 4.10, especificamente desenvolvido para coletar dados de condição do pavimento através de alta tecnologia.

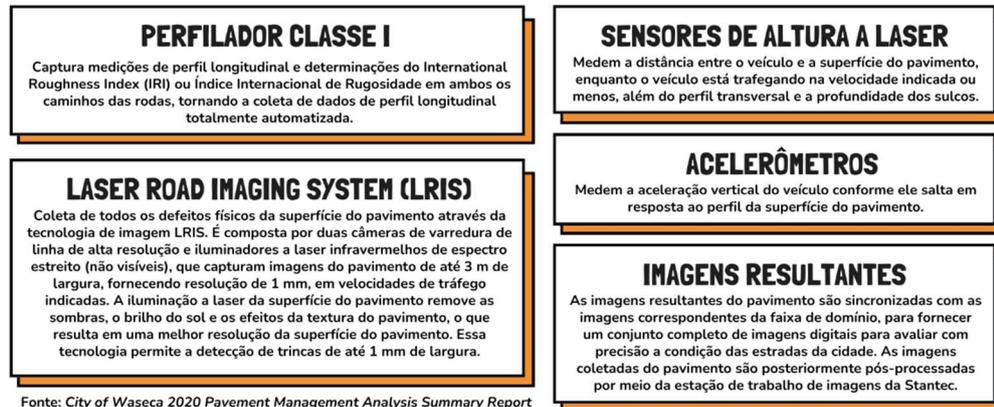
Figura 4.10 – Veículo *Road Tester 3000*



Fonte: Stantec (2020)

Integrado com *lasers*, GPS inercial e imagens digitais de alta definição, o RT3000 coletou simultaneamente dados de perfil do pavimento, sulcos e desgaste da superfície nas ruas da cidade. A Figura 4.11 apresenta o modo como o veículo atua, desde a coleta de dados através dos sensores a *laser* e acelerômetros (instalados no para-choque dianteiro) até a geração das imagens, que são pós-processadas a fim de determinar os índices de condição do pavimento.

Figura 4.11 – Tecnologias inclusas no RT3000



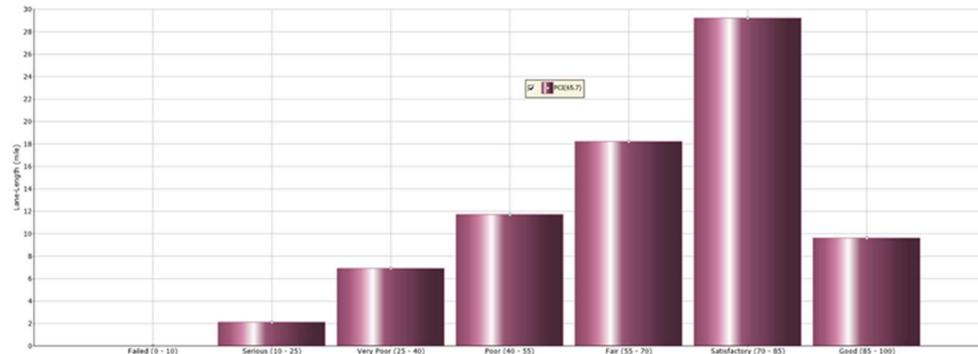
Fonte: Autoria própria conforme Stantec (2020)

Cada manifestação patológica foi medida e marcada com uma referência linear e as coordenadas de GPS correspondentes. Os dados foram coletados continuamente, processados e agregados para calcular um PCI para cada seção do pavimento. Todas as estradas foram avaliadas em uma única faixa de rodagem para ruas de até três faixas de largura. Estradas com quatro ou mais pistas, ou divididas por um canteiro central, foram inspecionadas na pista mais externa, em ambas as direções.

O PCI da cidade estava predominantemente influenciado pela quantidade de fissuras associadas à carga (couro de jacaré). Essas patologias são indicativas de estradas que estão mostrando níveis variados de problemas estruturais. Com o tempo, estradas com problemas estruturais relacionados resultarão em uma maior taxa de deterioração e exigirão tratamentos mais caros para levar essas estradas a um nível aceitável de serviço.

O PCI médio da rede – ponderado por quilômetros de pista – para a cidade de Waseca foi 65,7, o que indica que, em geral, a maior parte da rede de ruas da cidade está operando em um nível de serviço “degradado” (faixa de PCI 55-70). Conforme apresentado na Figura 4.12, que mostra os valores de PCI do pior ao melhor (da esquerda para a direita), aproximadamente metade da rede possui um nível de serviço “Adequado” com pontuações de PCI acima de 70. Por outro lado, 26,7% da rede, têm pontuações de PCI inferiores a 55 e, portanto, estão operando em um nível “Insatisfatório”.

Figura 4.12 – Distribuição dos valores de PCI em Waseca (EUA)



Fonte: Stantec (2020)

4.4.2 Cálculo do PCI usando o Sistema Micro PAVER

Shahin (2005) inseriu as informações das patologias no PAVER, um *software* que calcula automaticamente o PCI de cada unidade de amostra e determina um PCI geral para uma seção, bem como quantidades de danos extrapoladas. O programa também pode determinar a porcentagem de valores de dedução com base no mecanismo de patologia (ou seja, carga, clima e outras) para uma seção. A porcentagem de valores de dedução atribuídos a cada mecanismo é a base para determinar as causas primárias da deterioração do pavimento. A Figura 4.13 mostra um exemplo de um cálculo automatizado de PCI.

Figura 4.13 – Cálculo do PCI obtido pelo Sistema Micro PAVER

Network ID: NeilArms
 Branch ID: TAXIW Branch Name: Taxiway Section Area: 43,296. SqFt
 Section ID: D Section Length: 902. Ft Section Width: 48. Ft
 Index: PCI Date: 2/6/2002 Condition: 79 Good Std Dev.: 13.16

Sample Number	Sample Type	Sample Size	Units	PCI
01	Random	6,235.	SqFt	80
03	Random	5,000.	SqFt	79
04	Random	5,000.	SqFt	86
06	Random	5,000.	SqFt	56
07	Additional	5,000.	SqFt	100

Samples
 Random Surveyed: 4 Additional Surveyed: 1 Total Samples: 10
 Recommended For Project Level: 8

Print Close

Fonte: Shahin (2005)

4.4.3 Coleta de dados manual versus automatizada

Segundo Shahin (2005), calcular o PCI manualmente não é uma operação tediosa para uma única unidade de amostra. No entanto, à medida que volume de dados gerados aumenta significativamente (como para a inspeção em Waseca ou em City and County of San Francisco), os cálculos envolvendo esses dados são bastante demorados.

De acordo com Vieira *et al.* (2016), a aplicação manual do PCI é mais adequada para trechos menores, quando, por exemplo, há a necessidade de quantificar o volume de tapaburacos, extensões de remendos localizados, pequenas áreas que necessitem de fresagem.

Um estudo feito por Cline *et al.*, 2001 *apud* Shahin *et al.*, 2005, patrocinado pela Marinha americana, comparou a coleta de dados manual e automatizada. Concluiu-se que as medições de PCI feitas manualmente ou automatizadas são consistentes e que os resultados são bastante similares. A diferença está na inconsistência da severidade, que indica as preocupações que estão presentes durante qualquer pesquisa – ou seja, a interpretação do nível de severidade varia de pessoa para pessoa. No entanto, rever o pavimento em uma estação de trabalho onde a patologia pode ser ampliada pode produzir medições mais precisas e melhor consistência.

Conforme a Tabela 4.3, as colunas mostram as áreas de pavimento e os valores de PCI obtidos através de coleta manual e automatizada, respectivamente. Os valores de PCI indicam que ambas as técnicas resultam em valores semelhantes. Os resultados em SINGLETON 06 indicam a inconsistência da severidade, o que reforça que quando a severidade é consistente, o PCI é consistente. O índice 1 mostra o valor do PCI (entre parênteses) caso a severidade fosse média, assim como foi usada na coleta manual. Por outro lado, o valor entre parênteses representado pelo índice 2 em TICONDEROGA 01, representa a hipótese de uma unidade de amostra extra ter sido considerada.

Tabela 4.3 – PCI manual *versus* automatizado

	Manual PCI	Automated PCI
TARAWA 01	83	81
TARAWA 02	38	39
TARAWA 03	67	72
WASP 04	84	85
SINGLETON 06	59	79 (61) ¹
TICONDEROGA 01	40 (38) ²	35

Fonte: Shahin (2005)

Na Tabela 4.4, os valores de PCI também indicam que ambas as técnicas de pesquisa resultam em valores similares. Normalmente, resultados satisfatórios podem diferir em até 5 pontos.

Tabela 4.4 – Diferença de pontos entre valores de PCI

	Manual PCI	Automated PCI	Difference
INTREPID 01	87	85	-2
INTREPID 02	64	60	-4
INTREPID 03	30	34	+4
ORISKANY 01	33	35	+2
ORISKANY 02	89	86	-3
ORISKANY 03	94	89	-5
KEARSARGE 01	27	86	*
KEARSARGE 02	53	52	-1
KEARSARGE 03	55	60	+5
CLUB DRIVE 01	16	13	-3

Fonte: Shahin (2005)

Valores muito discrepantes, como o obtido em KEARSARGE 01, devem ser observados cuidadosamente. Neste caso, foi usada a parte incorreta da seção. KEARSARGE 01 faz parte de uma área de estacionamento e, com base nos resultados, é aparente que os dois procedimentos seguiram uma linha central diferente. Com base nas condições existentes, o deslocamento da linha central ao longo desta seção mudaria o PCI significativamente. Portanto, quando isso ocorre, é preciso dar mais atenção onde a estrada está realmente centralizada.

4.5 Avaliações Objetivas e Subjetivas

Fontenele e Sória (2003) *apud* Pinatt *et al.* (2024) estudaram a avaliação subjetiva das condições superficiais de estradas não pavimentadas em São Carlos (SP), com sete avaliadores em duas situações: trechos de 300 m percorridos em um veículo e trechos de 30 m percorridos a pé. Quando analisados individualmente, a maioria dos resultados estava dentro do limite aceitável, e, quando analisados em grupo, eram homogêneos. Os autores consideraram a avaliação subjetiva como válida em ambos os casos, independentemente da qualidade da estrada.

Soncim e Fernandes Júnior (2015) *apud* Pinatt *et al.* (2024) desenvolveram um modelo estatístico de desempenho para determinação do PCI em uma rodovia baiana. A comparação entre os valores do PCI objetivos e subjetivos revelou os resultados mostraram que os valores mais elevados do PCI foram subestimados e os valores mais baixos foram superestimados.

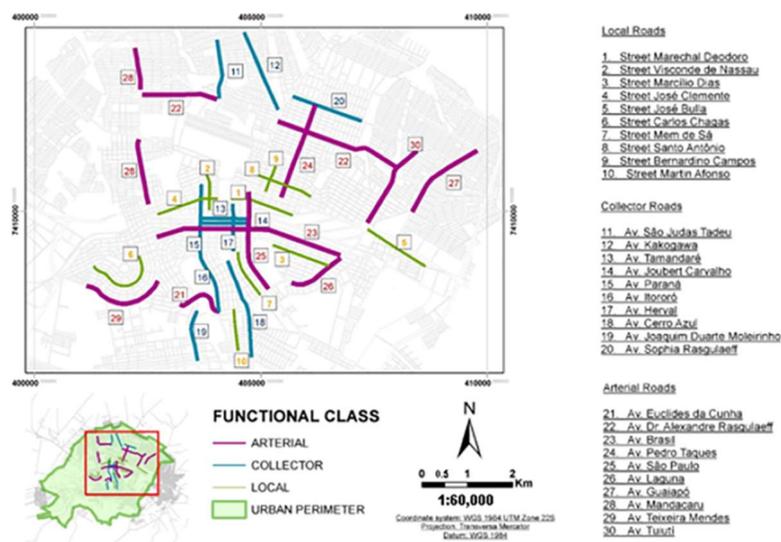
Pescador Júnior *et al.* (2018) *apud* Pinatt *et al.* (2024) concluíram que avaliações subjetivas são mais ágeis e simples, com resultados bastante similares aos obtidos nas avaliações objetivas. As discrepâncias entre os dois tipos de avaliações podem ser explicadas pela presença de alguns defeitos, que embora sejam considerados no cálculo do PCI, podem, no entanto, não influenciar de forma alguma o tráfego (de acordo com a percepção do avaliador).

4.5.1 Avaliações Objetivas e Subjetivas em Maringá (PR)

Dentre os diversos estudos, destaca-se o estudo feito por Pinatt *et al.* (2024), no qual o PCI foi obtido de forma objetiva e subjetiva. Os autores realizaram um estudo em Maringá (PR), em regiões com trechos com características similares entre si – no qual a palavra “trecho” refere-se à cada trecho de estrada presente entre as intersecções de duas estradas perpendiculares à via de estudo.

Conforme Figura 4.14, foram analisados 655 trechos de 30 estradas, com três classes diferentes, sendo 90 locais, 206 coletoras e 359 arteriais.

Figura 4.14 – Vias analisadas em Maringá (PR)



Fonte: Pinatt *et al.* (2024)

As avaliações objetivas e subjetivas foram realizadas segundo a gravidade e extensão dos defeitos, com base nos gráficos utilizados por Zanchetta (2005), adaptados do Manual SHRP (1993) – uma vez que os defeitos considerados pelo método SHRP não foram encontrados no Brasil porque eram defeitos mais comuns em estradas do que em vias urbanas.

Foram avaliadas fissuras (fissuras por fadiga, fissuras em bloco, fissuras em borda, fissura longitudinal, fissura transversal e fissura por reflexão), remendos, painelas, deformações permanentes, ondulações, exsudação e desgaste.

Na avaliação objetiva, cada defeito foi categorizado como “baixo: *low* (L)”, “moderado: *moderate* (M)” ou “alto: *high* (H)”, definido com a soma dos pontos dedutíveis (valores associados aos defeitos). Assim, conforme o PCI, a pontuação foi maior quanto ao nível de gravidade e extensão e para os defeitos que mais influenciavam na perda de utilidade do pavimento. Em cada bloco, foram desconsiderados as travessias rodoviárias e cerca de 6 m no início e no final do trecho, pois nessas regiões as características encontradas eram diferentes devido aos esforços de aceleração e desaceleração que ocorrem próximos aos cruzamentos.

Na avaliação subjetiva, o avaliador (sempre posicionado em local com total visibilidade da beira da estrada, ou entre duas avenidas) analisou visualmente o pavimento, atribuindo conforme o PCI, pontuações entre 0 e 100. As notas estavam perto de 100 quando no final da seção foram observados poucos defeitos ou esses defeitos eram pouco perceptíveis (como fissuras superficiais, remendos e pequenas panelas, ou baixo desgaste em pequenas áreas). À medida que a extensão e a gravidade dos defeitos aumentavam, as notas diminuam.

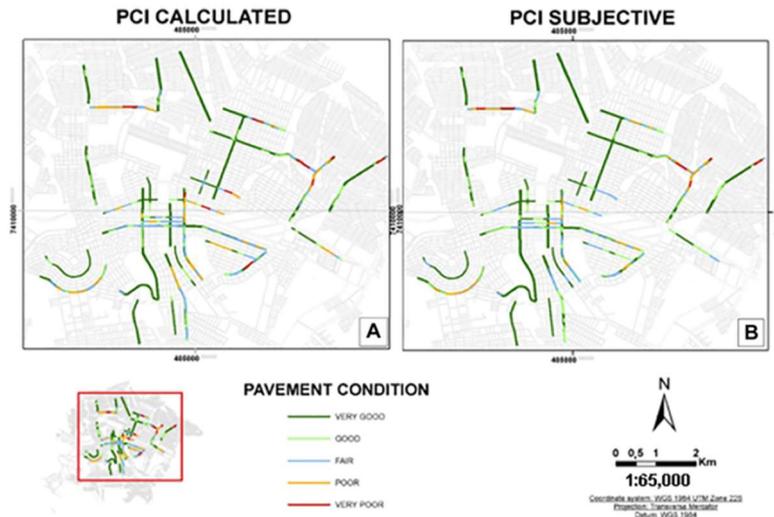
Além do preenchimento dos formulários, foi realizado o georreferenciamento de defeitos específicos (panelas, manchas e interferências causadas por raízes de árvores e manutenção de infraestrutura, como rede de esgoto). Para registro dos pontos e para a correção diferencial dos dados GPS, utilizou-se, respectivamente, o receptor GPS *Trimble* e o software *Trimble Pathfinder Office*.

Para a localização espacial desses pontos demarcados em campo, utilizou-se uma base cartográfica vetorial com o traçado prévio das ruas e calçadas, bem como a delimitação das quadras e da região urbana. Através do software ArcGIS 10.2, foi possível introduzir os seguintes dados incorporando diferentes camadas associadas a dados especializados: classe funcional, PCI calculado, PCI subjetivo, condição do pavimento e pontos coletados com o GPS. Além disso, os trechos de estudo foram vetorizados e por fim foram realizados cruzamentos de dados para o mapeamento da condição do pavimento e adensamento dos defeitos.

A utilização de ferramentas GIS na gestão de pavimentos permitiu maior agilidade na tomada de decisões devido à fácil visualização das características da via. Os mapas de condições do pavimento permitiram localizar os trechos e identificar facilmente quais estradas estavam em piores condições. Através deles, as informações puderam ser observadas concomitantemente. A sobreposição de defeitos georreferenciados nesses mapas é importante para identificar quais rotas têm maior prioridade de manutenção; sabendo-se quais defeitos são predominantes, pode-se selecionar estratégias de manutenção e recuperação.

A comparação entre os dois diferentes tipos de avaliação pelo método PCI na área de estudo pode ser visualizada na Figura 4.15.

Figura 4.15 – Comparação entre PCI objetivo (A) e subjetivo (B)



Fonte: Pinatt *et al.* (2024)

Na Figura A, para o PCI calculado, de todos os trechos apresentados, 61,83% foram classificados como “muito bom”, 16,03% como “bom”, 14,35% como “regular”, 6,23% como “ruim” e 1,68 % como “muito pobre”. Na Figura B, referente ao PCI subjetivo, 63,81% foram classificados como “muito bom”, 18,32% como “bom”, 12,37% como “regular”, 4,58% como “ruim” e 1,07% como “muito ruim”.

A Figura 4.16 mostra a comparação entre o PCI objetivo (calculado) e o PCI subjetivo, com os percentuais da classificação da condição do pavimento.

Figura 4.16 – Gráfico comparativo entre PCI objetivo e subjetivo

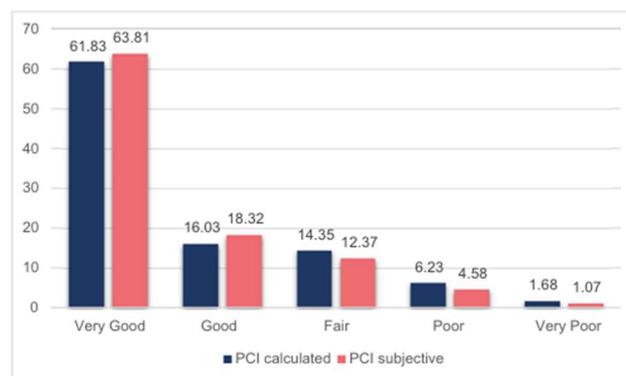


Fig. 4. Comparison between calculated PCI and subjective PCI

Fonte: Pinatt *et al.* (2024)

Observou-se que os valores do PCI calculado e do PCI subjetivo foram próximos em todas as categorias. A comparação entre os dois tipos de avaliação foi feita por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r), que é uma medida de variância compartilhada entre duas variáveis. A variação entre deve ser distribuída linearmente, uma vez a melhor forma de

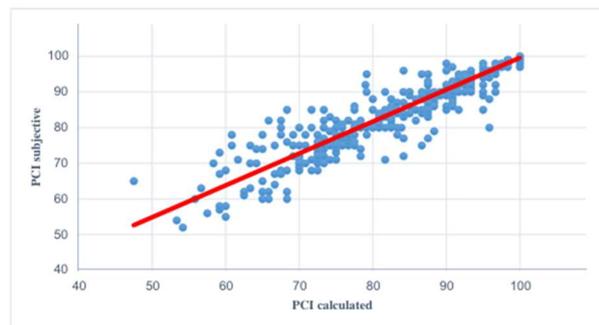
demonstrar o padrão de relacionamento entre elas é através de uma linha reta). O coeficiente de correlação de Pearson é calculado através da Equação 3:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \right) \left(\frac{Y_i - \bar{Y}}{S_y} \right) \quad (3)$$

Onde n é o número de unidades da variável, x_i e y_i são os valores das observações “ i ” de cada variável, \bar{X} e \bar{Y} representam as médias, e S_x e S_y indicam o desvio padrão.

A quantificação da similaridade visível entre as avaliações objetivas e subjetivas pode ser observada no gráfico apresentado na Figura 4.17.

Figura 4.17 – Correlação entre PCI objetivo e subjetivo



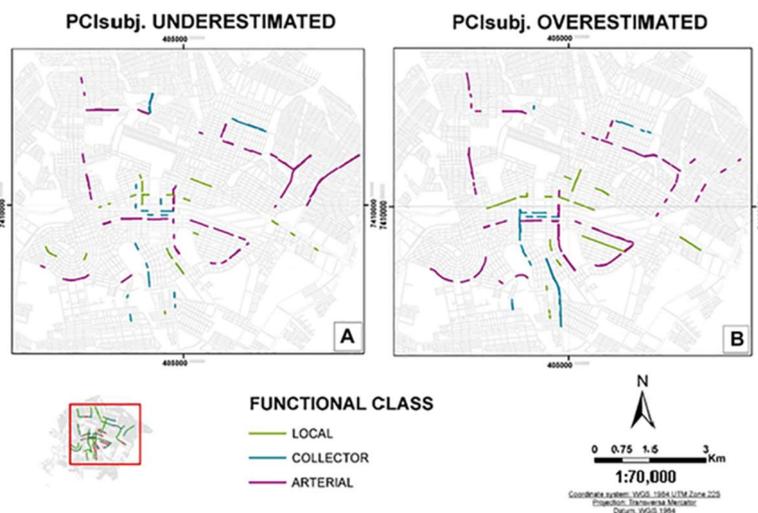
Fonte: Pinatt *et al.* (2024)

Constatou-se que não foram identificadas oscilações significativas de uma avaliação para outra, e foi possível verificar a semelhança entre as avaliações por meio do coeficiente de correlação de *Pearson*, que chegou a 0,95. Ou seja, existe uma forte correlação entre os valores do PCI, pois quanto mais próximo o valor estiver de 1, mais forte será a relação.

Assim, constatou-se que o uso do PCI subjetivo facilita o processo de avaliação de ruas e a tomada de decisão para fins de manutenção e que pode ser utilizada para definir o Índice de Condição do Pavimento como uma alternativa simplificada à avaliação objetiva pelo método PCI. Além disso, pôde-se notar que os resultados, mostrados na Figura 4.16, mostraram que os menores valores de PCI foram subestimados e os valores mais elevados foram superestimados, diferentemente do estudo de Soncim e Fernandes Júnior (2015).

Em busca de uma identificação visual dos trechos onde foi observada divergência entre as classificações do PCI objetivo e do PCI subjetivo, foi elaborado o mapa da Figura 4.18.

Figura 4.18 – Trechos com PCI objetivo e subjetivo discrepante



As vias com PCI mais divergentes foram as arteriais, seguidas das vias locais e coletoras, e a maioria destas foram superestimadas. A maioria das estradas locais foi classificada como “muito boa” tanto no PCI calculado quanto no subjetivo, 62,22% e 63,33%, respectivamente. Da mesma forma, a maioria das estradas coletoras foi classificada como “muito boa” e não apresentou grandes diferenças entre os valores do PCI calculado e do PCI subjetivo, 70,87% e 73,79%, respectivamente.

As estradas arteriais também apresentaram a maior parte dos trechos classificados como “muito bons”, mas com percentuais menores que os das estradas locais e coletoras (56,27% para o PCI calculado e 57,94% para o PCI subjetivo). Concluiu-se que a maioria das estradas estudadas estavam em boas condições de uso.

4.6 Considerações sobre o PCI

O uso do PCI para avaliação de pavimentos, estradas e estacionamentos de aeroportos tem sido amplamente utilizado nos Estados Unidos e em outros países ao redor do mundo. No entanto, o PCI é uma métrica que requer tempo, custo e muito trabalho. Ao longo dos anos, o PCI foi aplicado por diversos autores. Alguns deles compararam diferentes métodos com o PCI, incorporaram novos parâmetros ou utilizaram uma escala customizada.

4.6.1 PCI versus outros métodos

Em 1993, APS *et al.* (1998) conduziram um estudo no qual se avaliou a condição do pavimento de 10 vias da zona leste de Santos (SP), através da aplicação concomitante do PCI e do Índice Global de Gravidade (IGG). Inicialmente avaliadas superficialmente pelo IGG, e,

após a execução dos cálculos, as vias resultaram em 19 segmentos homogêneos, avaliados pelo método do PCI.

Após a análise dos resultados, verificou-se que 9 e 12 trechos obtiveram conceitos inferiores ao limite considerado aceitável (regular) segundo o PCI e o IGG, respectivamente. Cinco dos 19 segmentos apresentaram resultados divergentes entre as classificações e foram submetidos à uma nova análise através da revisão das planilhas de campo e de cálculo.

Vieira *et al.* (2016), que também compararam os dois métodos, concluíram que o PCI foi mais completo e mais adequado nas condições avaliadas. A aplicação dos dois modelos foi considerada viável. O método do IGG foi considerado pelos autores como mais fácil de utilizar devido à simplicidade na execução do levantamento em campo – qualidade apontada como a única vantagem em relação do método PCI. Assim, o uso do IGG é mais indicado quando se necessita de uma avaliação imediata e em grandes extensões, funcionando como uma ferramenta para a alimentação de dados de um sistema de gerência a nível de rede.

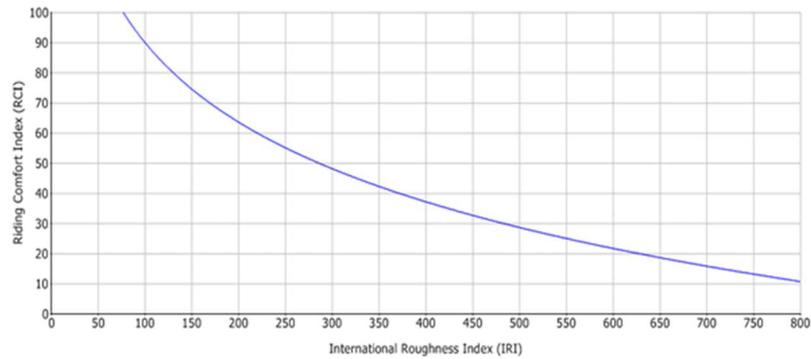
Shahin (2005) comparou o PCI com o *Pavement Quality Index* (PQI) ou Índice de Qualidade do Pavimento. Ao contrário do PQI, o PCI não considera fatores funcionais como passeio, textura do pavimento e adequação estrutural do pavimento. No entanto, se utilizados juntos, os métodos podem determinar com maior precisão a condição real do pavimento.

Arhin *et al.* (2015) *apud* Pinatt *et al.* (2024) estimaram o valor do PCI a partir dos valores do IRI, através de equações estatísticas, utilizando o método de regressão de mínimos quadrados. Os modelos foram desenvolvidos para diferentes condições, classes funcionais e tipos de pavimento.

Equipado com um perfilador, o veículo RT3000 da empresa Stantec realizou medições de perfil longitudinal das trilhas de roda, coletadas continuamente ao longo de toda a extensão de cada seção de pavimento da cidade de Waseca (EUA), que foram expressas em termos de valores de IRI para ambas as trajetórias de roda da pista de rolamento. Os valores de rugosidade são então correlacionados a uma avaliação da qualidade da condução, conforme a Figura 4.19. Essa avaliação subjetiva é chamada de *Riding Comfort Index* (RCI). A Equação 4 a seguir foi usada para converter as medições de IRI em valores de RCI:

$$RCI = 25,17 - 3,82 \times \ln(IRI)$$

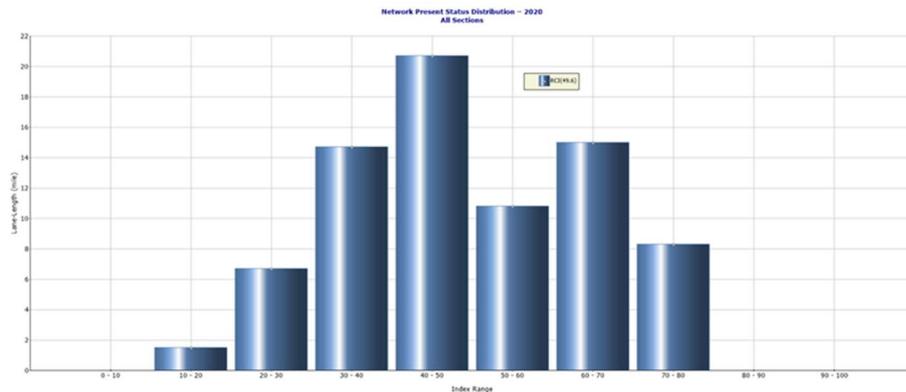
Figura 4.19 – Correlação IRI-RCI para a cidade de Waseca (EUA)



Fonte: Stantec (2020)

O valor do RCI pode variar de 0 a 100, onde 0 indica um pavimento extremamente áspero e 100 um pavimento extremamente liso. Para a cidade de Waseca, o RCI médio da rede (ponderado por quilômetros de pista) foi 49,6. Um gráfico mostrando a distribuição dos valores de RCI é mostrado na Figura 4.20, do pior ao melhor (da esquerda para a direita).

Figura 4.20 – Distribuição dos valores de RCI em Waseca (EUA)



Fonte: Stantec (2020)

Os pavimentos com valores de RCI na faixa de 40 a 60 são considerados como tendo características de qualidade de condução “Razoável”. Aproximadamente 40,5% da rede se enquadra nessa categoria. Valores inferiores a 40 indicam pavimentos “ruins”, que corresponderam a aproximadamente 29,4% da rede. Apenas 30,0% da rede obteve RCI igual ou superior a 60, ou seja, pavimentos de “boa” condução. Estes valores se mostraram similares aos obtidos com os valores de PCI.

4.6.2 Novos parâmetros de análise do PCI

Apesar de o PCI ser uma ferramenta simples e eficaz, sozinha ela pode ser insuficiente para escolher a melhor estratégia no momento adequado para maximizar a relação custo-

benefício do pavimento. Desta forma, incluir novos parâmetros para o método pode ser uma alternativa para aumentar a sua funcionalidade.

Assim, pode-se considerar o PCI como o método-base, além de inserir outros defeitos e análises para que se obtenha a mais fidedigna avaliação da condição dos pavimentos possível. Assim, conforme feito por Albuquerque (2017) para a cidade de João Pessoa (PB), pode-se obter um índice de condição do pavimento personalizado, que considere todas as necessidades e incorpore as melhores técnicas.

Boyapati e Kumar (2015) utilizaram o método PCI para determinar a condição do pavimento em dois trechos situados em vilarejos em Tamil Nadul, estado mais ao sul da Índia. Os trechos Thanjavur-Ayyampetai e Sathamagalamb-Keelapur, (com 7 e 4 km de comprimento, respectivamente) apresentavam pavimentos gravemente afetados.

Para os autores, o PCI fornece uma maneira subjetiva de encontrar as necessidades de manutenção de pavimentos e priorizar as seções de pavimento com base na prioridade. Mediante os PCIs calculados, eles sugeriram a adoção de Níveis de Prioridade de Manutenção, que elencam estratégias de manutenção e reabilitação que poderiam ser adotadas nos trechos estudados, conforme a Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Níveis de Prioridade de Manutenção

PCI value	Condition of pavement	Priority of ranking	Suggested Treatment
0 – 25	Worst	PR1 (Reconstruction)	Reconstruction
25 – 40	Poor	PR2 (Rehabilitation)	Thick over layer
40- 60	Fair	PR3 (Rehabilitation)	Mix seal surface/ Thin Over layer
60 – 85	Good	PR4 (Preventive Maintenance)	Seal Coat/ thin Pre Mixed Carpet
85 – 100	Excellent	PR5 (Corrective Maintenance)	No Maintenance

Fonte: Boyapati e Kumar (2015)

Os Níveis de Prioridade de Manutenção consideram que pavimentos com PCI alto não exigem nenhuma atividade de manutenção em prioridade, enquanto os de PCI mais baixo exigem manutenção prioritária.

Os valores de PCI do primeiro trecho estavam na faixa de 24 a 56, cobrindo três condições diferentes do pavimento (ruim, muito ruim e regular), enquanto os valores do segundo variavam entre 40 e 45. Os Níveis de Prioridade de Manutenção do primeiro trecho foram (PR1: reconstrução; PR2 e PR3: reabilitação), enquanto o segundo foi classificado quanto à condição regular do pavimento, com nível de prioridade PR3 (reabilitação).

Corazza *et al.* (2016) *apud* Pinatt *et al.* (2024) consideraram as irregularidades nas raízes das árvores no cálculo do Índice de Condição da Calçada, pelo que se concluiu que as raízes podem ter um grande impacto na condição dos pavimentos.

Kirbas e Karasahin (2017) estimaram o valor do PCI a partir da vibração, onde o componente de rugosidade superficial foi avaliado através de uma análise de dados de aceleração e modelos matemáticos de previsão.

Em outro estudo, Kirbas e Karasahin (2018) estudaram as Condições de Conforto dos membros de um veículo através da vibração recebida de acordo com o PCI da pista e a velocidade do veículo (entre 20 e 50 km/h). As Condições de Conforto foram classificadas como “não desconfortável: *not uncomfortable* (NU)”, “um pouco desconfortável: a *little uncomfortable* (ALU)”, “relativamente desconfortável: *fairly uncomfortable* (FU)” e “nível de conforto: *comfort level* (CL)”.

Assim, os resultados obtidos foram os valores do limiar do PCI para o nível de conforto em cada velocidade: 20 km/h (PCI de 42: limite entre NU e ALU; PCI de 0: limite entre ALU e FU), 30 km/h (PCI de 67: limite entre NU e ALU; PCI de 12: limite entre ALU e FU), 40 km/h (PCI de 72: limite entre NU e FU). ALU; PCI de 30: limite entre ALU e FU) e 50 km/h (PCI de 78: limite entre NU e ALU; PCI de 45: limite entre ALU e FU).

4.6.3 PCI Customizado

Além da escala padrão, Shahin (2005) estabeleceu uma escala customizada para o PCI, com apenas três níveis: bom, regular e ruim ou pobre, conforme mostra a Figura 4.21. Com base nessa escala, Al-Neami *et al.* (2017) *apud* Pinatt *et al.* (2024) avaliaram dez trechos de diferentes categorias. Concluiu-se que 48% deles estavam em boas condições, 25% estavam razoáveis e 27% estavam em más condições.

Figura 4.21 – Escala customizada do PCI



Fonte: Shahin (2005)

4.7 Patologias, Classificação das Vias e Propensão a Acidentes

Quanto ao tipo e à predominância das patologias encontradas, panelas e manchas são bastante comuns em pavimentos, como apontaram as avaliações feitas por Mittal *et al.* (2017) *apud* Pinatt *et al.* (2024) e Corazza *et al.* (2016) *apud* Pinatt *et al.* (2024). O estudo de Kirbas e Karasahin (2017) indicou a predominância de manchas (19,5%), enquanto as panelas ocupavam o quarto lugar (13%).

Boyapati e Kumar (2015) consideram que a extensão e a quantidade de fissuras e remendos desempenham uma relação vital com os valores de classificação das condições do pavimento. Os dois trechos estudados por eles têm valores de PCI que estão na faixa de 45 e 60, nos quais 25% dos defeitos são fissuras, 20% remendos e 15% panelas.

Segundo Pinatt *et al.* (2024), que analisaram alguns estudos onde foi aplicado o Método PCI, notou-se que, independentemente de os defeitos serem nas vias de veículos ou de pedestres, os defeitos mais encontrados são exatamente os mesmos. Além disso, os defeitos ocorrem principalmente nas vias arteriais seguidas pelas vias locais, com menor frequência nas vias coletoras.

Um estudo conduzido por Arhin *et al.* (2015) *apud* Pinatt *et al.* (2024) mostrou que as vias locais apresentaram mais defeitos em comparação às vias arteriais e coletoras. Em teoria, por apresentarem maior fluxo, as vias arteriais são mais sujeitas à defeitos, entretanto, as condições de manutenção também devem ser consideradas na determinação da qualidade do pavimento.

A partir do estudo de Li e Huang (2014) *apud* Pinatt *et al.* (2024) – que comparou diferentes tipos de estradas com as informações de acidentes – conclui-se que, quanto melhor for a condição do pavimento, menores serão as taxas de colisões. Ou seja, a condição do pavimento afeta a segurança dos usuários. O maior número de colisões foi encontrado nas vias secundárias classificadas como “muito ruins”, seguidas pelas vias secundárias nas categorias

“regular” e “ruim”. Em contrapartida, uma menor quantidade de colisões ocorreu nas vias arteriais nos trechos “muito ruim”, “ruim” e “regular”. Para ambas as vias, o estágio “muito bom” foi o que registrou o menor número de acidentes.

Algumas patologias específicas, como poços de inspeção de esgoto e rede elétrica, raízes de árvores, panelas e manchas foram especialmente estudados através do georreferenciamento. Ao sobrepor esses pontos às estradas classificadas, de acordo com o estado do pavimento, foi possível observar que defeitos como panelas e as manchas cobrem a maior parte dos trechos, estando presentes em todos os tipos de condições de pavimento. Observou-se que a maioria dos trechos “muito bons” não apresentavam esses defeitos. Essas observações são visualizadas na Fig. 4.22.

Figura 4.22 – Patologias mais frequentes em pavimentos asfálticos

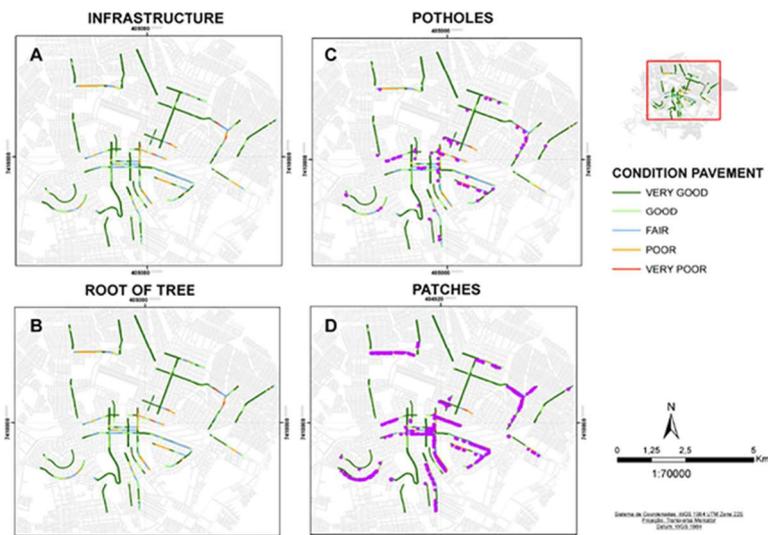


Fig. 7. Location of the study points, associated to the condition of the roads: a. infrastructure; b. tree roots; c. potholes; d. patches.

Fonte: Pinatt *et al.* (2024)

As interferências na infraestrutura, conforme a Figura A, foram as menos frequentes durante a coleta de dados. Na maioria dos casos, foram encontrados poços de inspeção de esgoto no meio da estrada. Os defeitos das raízes das árvores, embora sejam os menos frequentes dos defeitos encontrados (mesmo se tratando de uma cidade arborizada como a paranaense Maringá) danificam o revestimento. As raízes das árvores geralmente alcançam apenas a beira da estrada, perto da calçada; porém, em alguns casos, causam fissuras que podem atingir o centro da estrada.

Em alguns casos, a interferência na estrutura foi mais grave porque a estrada já havia recebido outras camadas de revestimento, o que criou uma espécie de degrau entre o pavimento e o poço de inspeção. Embora seja uma interferência que causa desconforto no trânsito na via, não é considerada defeito.

Interferências na infraestrutura e raízes de árvores não são defeitos e não influenciam no cálculo do PCI, mas as fissuras causadas pelas raízes de árvores são defeitos e impactam no PCI. Na Figura B pode-se observar que este tipo de interferência ocorre frequentemente em pavimentos com condições “boas” e “muito boas”.

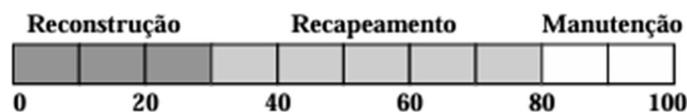
As panelas são encontradas em maior quantidade em comparação com outras formas de interferência, conforme mapa apresentado na Figura C. A maioria dos trechos que continham esse defeito apresentam classificação “regular” a “muito ruim”. Isso reflete diretamente no cálculo do PCI, pois este é um dos defeitos mais significativos pelo quanto afeta a qualidade do tráfego.

As manchas, conforme a Figura D, foram encontrados em estradas com diferentes condições de pavimento, sendo mais frequentes em estradas cujos trechos classificados como “muito ruim”, “ruim” e “regular”. Os remendos também são um tipo de defeito que têm peso ainda maior que o das panelas; por isso, está mais presente em trechos com piores condições.

4.8 Necessidades de M&R e Análise Orçamentária

O PCI de uma via fornece orientação quanto ao tipo de tratamento e aos custos associados necessários para resolver a condição atual de uma estrada ou levá-la a um nível de serviço adequado. Diversos autores a interpretam de forma variada. A Figura 4.23 define as estratégias de intervenção de acordo com os intervalos do PCI.

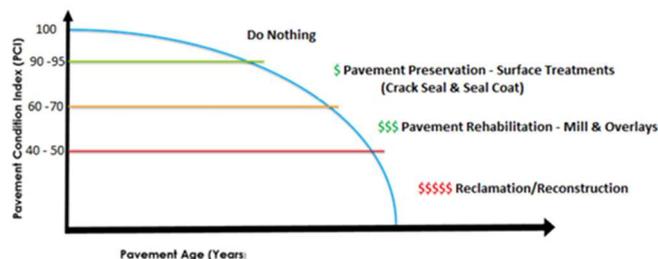
Figura 4.23 – Intervalos de PCI para seleção de estratégias de M&R



Instituto do Asfalto, 1989 *apud* Páez e Fernandes Júnior, 2013

Por outro lado, a empresa Stantec, que realiza inspeções de PCI automatizadas, utiliza os intervalos de forma diferente, conforme mostra a Figura 4.24.

Figura 4.24 – Necessidades de M&R *versus* PCI



Fonte: Stantec (2020)

A Tabela 4.6 relaciona as categorias de M&R e os valores unitários usados nessa análise, extraídos da inspeção realizada em 2020 na cidade de Waseca (EUA) pela empresa Stantec.

Tabela 4.6 – Categorias de Tratamento segundo o PCI

Valores de PCI	Necessidades de M&R	Valor unitário (\$/sqyd)
95-100	Não fazer nada	0
70-95	Selagem de fissuras e revestimento	1,85
50-70	Fresagem e recapeamento	45,00
0-50	Recuperação e reconstrução	80,00

Fonte: Autoria própria conforme Stantec (2020)

Foi conduzida uma análise para estimar o impacto que cinco cenários de financiamento teriam na rede em um período de 10 anos (de 2021 a 2030): a) Orçamento Não fazer nada; b) orçamento ilimitado; c) Orçamento para manter o PCI=68; d) Orçamento para atingir PCI=70; e e) orçamento atual. Uma taxa de inflação de 3% foi aplicada aos custos do tratamento. O comparativo entre os cinco orçamentos é apresentado na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Comparativo orçamentário (2021-2030) para Waseca

Ano	Não fazer nada	PCI médio da rede	Orçamento ilimitado	PCI médio da rede	Orçamento para manter PCI=68	PCI médio da rede	Orçamento para atingir PCI=70	PCI médio da rede	Orçamento atual	PCI médio da rede
2021	\$0	65.3	\$ 21,253,200	88.7	\$ 1,128,579	68.2	\$ 1,128,579	68.2	\$ 1,180,000	68.4
2022	\$0	62.5	\$ 1,983,363	90.0	\$ 1,545,801	68.1	\$ 1,545,801	68.1	\$ 735,000	68.3
2023	\$0	59.7	\$ 2,246,480	90.1	\$ 1,628,623	68.3	\$ 1,628,623	68.3	\$ 735,000	67.5
2024	\$0	56.8	\$ 1,414,525	90.7	\$ 1,359,317	68.1	\$ 1,359,317	68.1	\$ 2,070,000	67.7
2025	\$0	53.7	\$ 321,837	90.2	\$ 2,087,791	68.2	\$ 2,087,791	68.2	\$ 735,000	66.6
2026	\$0	50.7	\$ 66,379	89.6	\$ 1,774,913	68.2	\$ 2,691,634	69.1	\$ 735,000	65.1
2027	\$0	47.6	\$ 58,256	89.1	\$ 1,721,357	68.4	\$ 1,504,292	69.2	\$ 2,070,000	65.4
2028	\$0	44.5	\$ 111,829	88.5	\$ 1,183,633	68.2	\$ 1,500,374	69.3	\$ 735,000	64.6
2029	\$0	41.4	\$ 169,381	88.7	\$ 554,153	68.1	\$ 585,796	69.2	\$ 735,000	63.6
2030	\$0	38.4	\$ 923,636	91.3	\$ 964,555	68.0	\$ 1,840,391	70.2	\$ 2,070,000	63.8
Total	\$0		\$ 28,548,886		\$ 13,918,722		\$ 15,872,598		\$ 11,800,000	

Fonte: Autoria própria conforme Stantec (2020)

No orçamento "Não fazer nada", em que nenhuma manutenção e trabalho de reabilitação seriam executados na rede rodoviária da cidade nos próximos dez anos, o valor do PCI cai drasticamente de 65,3 em 2021 para 38,4 em 2030. Por outro lado, com o orçamento ilimitado, é aplicado o tratamento necessário, o que resulta em \$ 28,5 milhões de gastos previstos para que a rede rodoviária atinja um PCI igual a 91,3.

Considerando que o estudo da Stantec foi realizado em abril de 2020, a cidade identificou vários projetos de obras rodoviárias para 2020. Após a conclusão desses projetos, a média do PCI da rede foi prevista para aumentar para 67,9 até 2021. Assim, para manter o PCI

da rede igual a 68 até 2030, são necessários quase \$ 14 mi. Caso a cidade quisesse um valor igual a 70, o valor é de aproximadamente \$ 15,9 mi.

O impacto potencial que o orçamento atual da cidade fará com que o PCI diminua pouco a pouco a cada ano e seja de 63,8 em 2030. Este orçamento custa aproximadamente \$ 11,8 milhões, o que inclui gastos anuais de \$ 100.000 para tratamentos superficiais de selagem de fissuras, \$ 575.000 para fresagem e recapeamento e para projetos de recuperação e/ou reconstrução e \$ 60.000 para prioridades imediatas. Também foi incluído o repasse estadual, de até \$ 445.000 (2021) e \$ 1.335.000 a cada três anos (2024, 2027 e 2030).

Assim, a partir da condição das ruas da cidade, conclui-se que o orçamento atual é insuficiente para manter a rede em um nível de serviço "Adequado" (ou seja, $PCI > 70$). A cada ano que passa, sem financiamento suficiente, a rede continuará a se deteriorar e os custos para manter a rede aumentarão significativamente. A análise mostra que um aumento de 4,1 milhões no orçamento atual elevaria o PCI da cidade para 70.

Como parte do programa de gerenciamento de pavimentos em andamento de uma cidade, deve-se realizar pesquisas continuamente e implementar técnicas de preservação de pavimentos de menor custo, como tratamentos de superfície, fresagens e recapeamentos em vias que estejam atualmente em condições "razoáveis" a "boas". Ainda de acordo com o estudo, um orçamento inicial maior para tratar vias urbanas com $PCI > 60$ é mais econômico a longo prazo do que esperar que ocorra deterioração dos pavimentos.

5. CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO

5.1 Via de Estudo

5.1.1 Avenida César Lattes

O estudo de caso foi realizado na Avenida César Lattes (Figura 5.1), situada no Setor Novo Horizonte, bairro da Região Sudoeste de Goiânia, uma das vias mais importantes da região. A referida avenida é uma das principais ligações dos municípios de Goiânia e Aparecida de Goiânia.

Figura 5.1 – Aspecto da Avenida César Lattes



Fonte: Autoria própria

Via principal do Setor Novo Horizonte, a Avenida César Lattes possui 2,308 km de extensão, conforme o mapa apresentado na Figura 5.2, onde estão destacadas as demais avenidas do bairro (Avenida Maurício Gomes, Avenida Hermes Pontes, Avenida C, Avenida D e Avenida Domiciano Peixoto) e algumas outras vias da região (Avenida Milão, Avenida dos Alpes, Avenida Itália e Avenida Berlim).

Figura 5.2 – Avenida César Lattes e outras avenidas próximas



Fonte: Google Earth

Fonte: Autoria própria

De acordo com o Plano Diretor de Goiânia, a Avenida César Lattes é considerada uma via arterial de 1ª Categoria, ou seja, é uma “via que redistribui o tráfego das vias expressas para os seus destinos, até o nível das arteriais secundárias e que possui capacidade e velocidade menor que a via expressa, com traçado sensivelmente contínuo e interseções predominantemente em nível, atendendo principalmente à mobilidade do tráfego, podendo, contudo, ser permitido o acesso a propriedades adjacentes”.

Sua localização apresenta as seguintes coordenadas geográficas: na interseção entre a Avenida César Lattes com a Avenida Domiciano Peixoto (16° 43' 24"S, 49° 19' 19"W) e na interseção da Avenida César Lattes com o córrego Macambira (16° 42' 47"S, 49° 19' 05"W).

5.1.2 Sobre o nome César Lattes

A avenida leva o nome do físico brasileiro César Lattes (1924-2005). Segundo Noletto (2024), Lattes é considerado um dos maiores incentivadores da ciência no Brasil, aluno notável e pesquisador brilhante.

Além de dar nome a várias vias no país, dentre estas a via de estudo, o paranaense dá nome ao portal acadêmico Lattes, uma plataforma que reúne os dados de pesquisadores e professores brasileiros, na base do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

Em 1947, através da preparação de experimentos em montanhas de altitudes distintas na França e na Bolívia, com emulsões químicas em chapas fotográficas, Lattes descobriu, aos 23 anos, as partículas subatômicas méson-Pi (ou píon). Partícula intermediária entre prótons e elétrons, o méson-Pi – também chamado de carga neutra – foi a mais relevante descoberta da física nuclear do século XX.

Conforme Ferreira (2024), a ação laureou com o prêmio Nobel do ano seguinte o físico Cecil Powell, chefe de um laboratório em Bristol, Inglaterra, para o qual o brasileiro trabalhava. Mesmo não recebendo o prêmio individualmente, Lattes foi indicado sete vezes e ganhou notoriedade entre a comunidade científica. Apesar dos convites de trabalho advindos do mundo inteiro, resolveu retornar ao Brasil, onde foi professor universitário na USP e na Unicamp e grande defensor do sistema de dedicação exclusiva para professores universitários.

Lattes foi homenageado com um *doodle* animado feito pelo Google em 11 de julho de 2024, dia em que, se ainda vivo, completaria 100 anos, vide Figura 5.3. O navegador destacou que a descoberta do méson-Pi “aumentou nossa compreensão das forças nucleares”.

Figura 5.3 – Doodle “*Celebrating César Lattes*”



Fonte: Google (2024)

Disponível em: <<https://doodles.google/doodle/celebrating-cesar-lattes/>>

5.1.3 O Setor Novo Horizonte

Conforme o Diário Oficial do Município de Goiânia de nº 316 e Freitas (2012), a implantação do Setor Novo Horizonte se deu em abril de 1973 em uma área com mata virgem circundada por córregos. Na ocasião, foram entregues 1210 casas pela Companhia de Habitação Popular de Goiás (COHAB-GO), organização antecessora da Agência Goiana de Habitação (AGEHAB), e foram designados seis ônibus para circulação - dos quais um era reserva. Em 1975, última etapa de construção, foram entregues as 2310 casas restantes.

De acordo com Goiás de Norte a Sul (2021), as ruas do setor foram nomeadas com letras de A à D seguidas de números, e as casas foram construídas em quatro padrões distintos: as menores com área de 35 m² e as de maior porte, com 50 m². O projeto foi um aperfeiçoamento do primeiro conjunto habitacional da cidade, a Vila Redenção, criado em 1965.

Periférico e carente de asfalto, unidade de saúde e escolas de ensino médio, o Novo Horizonte era o último bairro da região sudoeste – e de Goiânia. A zona rural separava a capital da cidade de Aparecida de Goiânia. Apesar de ser um bairro planejado, o desenvolvimento chegou apenas no final dos anos 80, após reivindicações da comunidade. O asfalto chegou primeiro ao bairro vizinho, o Setor Cachoeira Dourada.

Segundo AGEHAB (2014), o Novo Horizonte é um bairro próspero e populoso, que ajudou a trazer o desenvolvimento para a região, o que ocasionou o surgimento de novos bairros em Goiânia e bairros fronteiriços de Aparecida de Goiânia, como o Setor Garavelo.

Hoje o local dá lugar a residências e diversos estabelecimentos comerciais, além do Parque Municipal Bernardo Élis – que faz parte do Programa Urbano Ambiental Macambira Anicuns (Puama) e possui uma área de 50 mil m².

Segundo o Censo Demográfico 2022, que dividiu a capital em 63 subdistritos baseadas nas Unidades Territoriais de Planejamento (U.T.P.), o subdistrito Novo Horizonte/Faiçalville possui 33.484 habitantes.

6. ESTUDO DE CASO

6.1 Classificação da Pesquisa

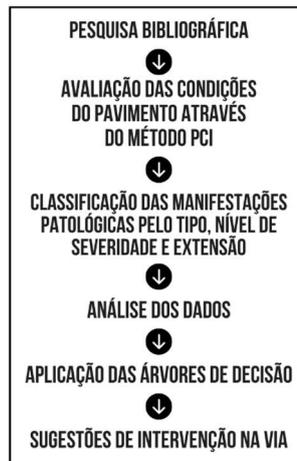
Precedido de uma pesquisa bibliográfica, o presente estudo é de caráter qualitativo, o que, segundo Fachin, 2003 apud Berbel, 2016, é definido como uma análise estatística para traduzir os fenômenos estudados. Na aplicação do método PCI tais fenômenos são as patologias do pavimento, caracterizadas pela severidade, tipologia e possíveis causas das manifestações patológicas encontradas na via de estudo. Pela metodologia do PCI pôde-se definir as intervenções futuras a serem implementadas pela GP.

6.2 Métodos de Trabalho

6.2.1 Etapas Constituintes

As etapas seguidas na elaboração deste trabalho foram as descritas na Figura 6.1:

Figura 6.1 – Metodologia do trabalho



Fonte: Autoria própria

6.2.2 Aplicação do Método PCI

Foi conduzida inspeção na via de estudo a partir do passo-a-passo descrito na seção 4.2.2 do Capítulo 4. Após a inspeção foram selecionados, como unidades de amostra, dois trechos em uma seção do pavimento submetida a intensas cargas de tráfego:

- a) Trecho 01 – Sentido Aparecida de Goiânia;
- b) Trecho 02 – Sentido Goiânia. Cada trecho possui 8,5 metros de largura de pista e 600 metros de extensão, totalizando 5100 m² de área de estudo.

A pesquisa de condição foi realizada nos dias 29 e 30 de março de 2025, com o auxílio de um topômetro (também conhecido como trena de roda ou distômetro), uma trena e dois cones de sinalização de 80 cm de altura, conforme mostrado nas Figuras 6.2 e 6.3.

Figura 6.2 – Materiais utilizados durante o levantamento *in loco*



Fonte: Autoria própria

Figura 6.3 – Execução da pesquisa de condição



Fonte: Autoria própria

As fotos das patologias se encontram no Apêndice B. Com base nos dados extraídos durante o levantamento *in loco*, foi possível obter os valores de dedução (a), através das curvas de valores de dedução estabelecidas por Shahin (2005) contidos no Anexo A. Os dados de cada patologia, de acordo com o tipo, severidade e extensão e os valores de dedução correspondentes para cada trecho foram contabilizados nas planilhas contidas no Apêndice C.

Através dos valores de dedução e da aplicação da Equação 1, obteve-se VTD (Valor Total de Dedução) igual a 73. A Tabela 6.1 apresenta os dados necessários para determinação do VTD:

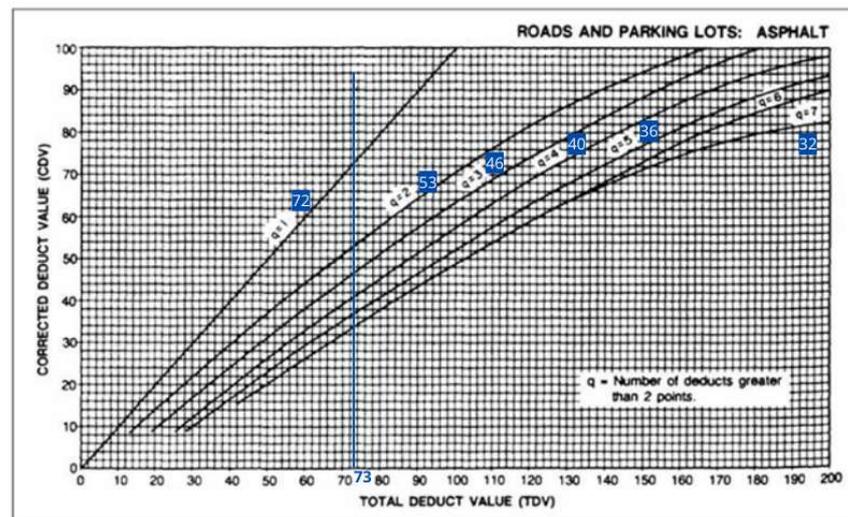
Tabela 6.1 – Dados para o cálculo do Valor Total de Dedução (VTD)

Valor Total de Dedução (VTD)									
$VTD = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{mi} a(T_i, S_j, D_{ij})$									
a	p	mi	T _i	S _j	D _{ij}	i	j	∑ (i até p)	∑ (j até mi)
2189,5	69	3	19	3	1,0784E-05	11	70	2415	73

Fonte: Autoria própria

Em seguida, foi encontrado o Valor de Dedução Corrigido (VDC) de acordo com o ábaco do Anexo B, também desenvolvido por Shahin (2005), e mostrado na Figura 6.4.

Figura 6.4 – Ábaco de correção do VTD



Fonte: Autoria própria

O cálculo do VDC se deu através da média dos valores encontrados na interseção entre a reta correspondente ao valor de VTD e as curvas q=1, q=2, q=3, q=4, q=5 e q=6;7, conforme apresentado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Dados para o cálculo do Valor de Dedução Corrigido

Valor de Dedução Corrigido (VDC) - Ábaco (Anexo B)						
q=1	q=2	q=3	q=4	q=5	q=6;7	VDC
72	53	46	40	36	32	46,5

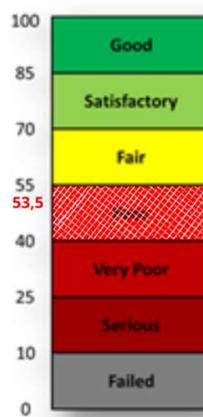
Fonte: Autoria própria

Por fim, o valor do PCI é calculado como a diferença entre 100 e o valor dedutível corrigido conforme a Equação 4, aplicada a seguir:

$$PCI = 100 - 46,5 = 53,5 \quad (4)$$

Assim, obteve-se o PCI da Avenida César Lattes igual a 53,5, o que representa um pavimento regular, considerado “pobre” conforme a escala apresentada na Figura 6.5.

Figura 6.5 – Escala padrão do PCI para a via de estudo



Fonte: Autoria própria conforme FAA PAVEAIR (2024)

Ao considerar apenas o valor obtido através do método PCI, o pavimento apresenta valores medianos e, portanto, se encontra próximo da condição aceitável (escala amarela). No entanto, uma análise aprofundada evidencia que, embora apresente valor praticamente equidistante de um pavimento em boas condições e de um pavimento “sofrível” – representado pela escala cinza –, assim, o método aplicado indica que o pavimento da Avenida César Lattes, possui um baixo nível de desempenho. Tal constatação é embasada pelo ponto de vista do Nível de Serviço (*Level of Service*), no qual o desempenho do pavimento foi considerado insatisfatório, conforme apresentado na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Valores de PCI conforme o Nível de Serviço

PCI Range	Level of Service Category
71 - 100	Adequate
56 - 70	Degraded
0 - 55	Unsatisfactory

Fonte: Autoria própria conforme Stantec (2020)

Assim, de acordo com o Nível de Serviço, o pavimento da Avenida César Lattes se enquadra na mais baixa categoria, considerada de desempenho insatisfatório.

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Apresenta-se a seguir a análise da condição atual do pavimento, obtida a partir do levantamento de patologias e da aplicação do Método PCI na unidade de amostra, além das intervenções sugeridas para a via de estudo.

Foram encontradas 69 manifestações patológicas na via de estudo, sendo 38 e 31 nos Trechos 01 e 02, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 7.1:

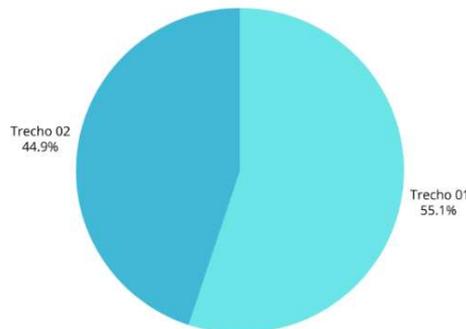
Tabela 7.1 – Resumo das Manifestações Patológicas

RESUMO - MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS		
TRECHO	SENTIDO	QUANTIDADE
01	APARECIDA DE GOIÂNIA	38
02	GOIÂNIA	31
TOTAL		69

Fonte: Autoria própria.

Esses dados representam, respectivamente, 55,1% e 44,9% das manifestações patológicas, conforme o gráfico de pizza da Figura 7.1:

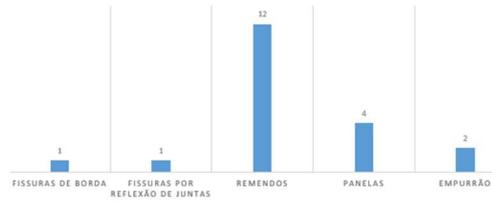
Figura 7.1 – Gráfico comparativo entre os Trechos 01 e 02



Fonte: Autoria própria.

No comparativo entre os trechos, observou-se que o Trecho 01 apresentou maior variedade de defeitos em relação ao Trecho 02. Conforme gráfico apresentado na Figura 7.2, notou-se que, dentre as manifestações patológicas encontradas apenas no Trecho 01, o remendo foi a mais recorrente:

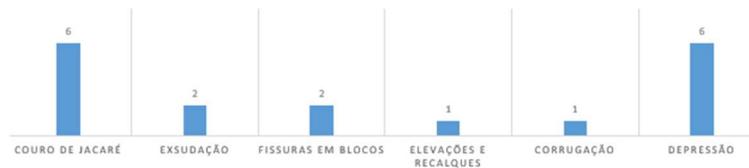
Figura 7.2 – Prevalência de remendos no Trecho 01



Fonte: Autoria própria.

Em seguida, destacaram-se as manifestações do tipo couro de jacaré e depressões, conforme gráfico apresentado na Figura 7.3:

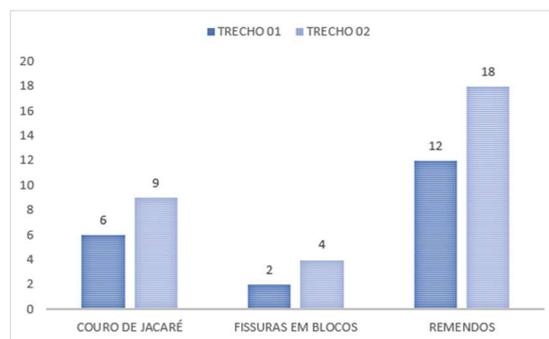
Figura 7.3 – Manifestações secundárias encontradas no Trecho 01



Fonte: Autoria própria.

Embora o Trecho 01 tenha apresentado maior multiplicidade, o Trecho 02 se destacou pela relativa predominância nas manifestações patológicas encontradas em ambos os trechos. De acordo com o gráfico da Figura 7.4, destacou-se a recorrência de remendos, couro de jacaré e fissuras em blocos:

Figura 7.4 – Manifestações encontradas em ambos os trechos



Fonte: Autoria própria.

O PCI da avenida, igual a 53,5, se encontra predominantemente influenciado pelo grande número de remendos. Segundo Shahin (2005), remendo é uma área de pavimento que foi substituída por um novo material a fim de reparar o pavimento existente. Nesse sentido, os

remendos executados na via são resultantes da tentativa de elevar o seu nível de serviço, conforme Figura 7.5. Alguns dos remendos encontrados na via estão apresentados nas Figuras 7.6 a 7.11.

Figura 7.5 – Intervenções executadas na via: remendos



Fonte: Autoria própria.

Figura 7.6 – Patologia nº 5: Remendo



Fonte: Autoria própria.

Figura 7.7 – Patologia nº 28: Remendo



Fonte: Autoria própria.

Figura 7.8 – Patologia nº 35: Remendo



Fonte: Autoria própria.

Figura 7.9 – Patologia nº 36: Remendo



Fonte: Autoria própria.

Figura 7.10 – Patologias nº 42 e nº 43: Remendos



Fonte: Autoria própria.

Figura 7.11 – Patologia nº 56: Remendo



Fonte: Autoria própria.

Além disso, conforme Figuras 7.12 a 7.15, pôde-se notar quantidade expressiva de couro de jacaré, um tipo de fissura associado à carga e indicativo da presença de níveis variados de problemas estruturais. Como esperado, as patologias decorrentes da carga de tráfego são comuns em vias arteriais, classificação dada à avenida. Com o tempo, esse tipo de patologia pode resultar em maior taxa de deterioração, além de exigir tratamentos caros e complexos de forma que a via torne a ter um nível aceitável de serviço.

Figura 7.12 – Patologia nº 2: Couro de jacaré



Fonte: Autorial própria.

Figura 7.13 – Patologia nº 26: Couro de jacaré



Fonte: Autorial própria.

Figura 7.14 – Patologia nº 54: Couro de jacaré



Fonte: Autorial própria.

Figura 7.15 – Patologia nº 55: Couro de jacaré



Fonte: Autorial própria.

No entanto, foi notável a presença de fissuras em blocos. Conforme exemplificado na Figura 7.16, são fissuras bastante similares ao couro de jacaré, embora tais polígonos se distingam do primeiro tipo por se formarem em áreas não sujeitas ao carregamento. As fissuras em blocos possuem forma retangular e são causadas principalmente pela retração do revestimento asfáltico e da base em virtude da variação de temperatura e umidade durante o dia.

Figura 7.16 – Patologia nº 38: Fissuras em blocos



Fonte: Autoria própria.

Portanto, a prevalência de remendos, a diversidade e a quantidade de patologias existentes em um mesmo trecho do pavimento acusam a necessidade de uma intervenção global, a fim de garantir a elevação do nível de serviço da via e extensão de sua vida útil.

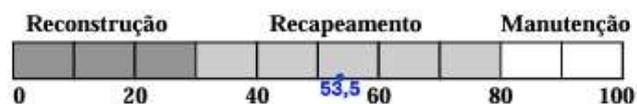
7.1 Intervenções sugeridas para a via

De posse do valor do PCI e do método das Árvores de Decisão, foi possível determinar as intervenções de manutenção necessárias sugeridas para a unidade de amostra do pavimento.

7.1.2 Intervenções sugeridas a partir do Valor do PCI

Conforme Figura 7.17, o recapeamento do pavimento é a estratégia de intervenção mais indicada para a via:

Figura 7.17 – Estratégia de M&R sugerida conforme PCI da via

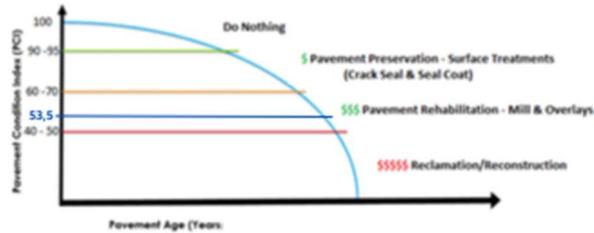


Autoria própria conforme Instituto do Asfalto, 1989 *apud* Páez e Fernandes Júnior, 2013

Sob uma visão diferente, a empresa Stantec, que realiza inspeções de PCI automatizadas, define estratégias diferentes. No entanto, conforme mostra a Figura 7.18, o valor

do PCI encontra-se em uma faixa intermediária entre a reconstrução e o recapeamento do pavimento.

Figura 7.18 – Faixas de M&R conforme PCI da via



Fonte: Autoria própria conforme Stantec (2020)

Desta forma, a Tabela 7.2 relaciona as necessidades de M&R pela empresa Stantec, sugerindo a fresagem e o recapeamento do pavimento asfáltico.

Tabela 7.2 – Necessidades de M&R sugeridas segundo o PCI

Valores de PCI	Necessidades de M&R
95-100	Não fazer nada
70-95	Selagem de fissuras e revestimento
50-70	Fresagem e recapeamento
0-50	Recuperação e reconstrução

Fonte: Autoria própria conforme Stantec (2020)

7.1.3 Intervenções sugeridas a partir das Árvores de Decisão

De acordo com Gonçalves, Scarant, 2007 *apud* Berbel, 2016, a Árvore de Decisão é uma ferramenta cujo principal objetivo é padronizar as decisões a serem tomadas em um SGP. É proposta para a seleção de atividades de manutenção e reabilitação do pavimento, considerando o tipo, a severidade e a extensão das patologias e volume de tráfego (quando este influencia na ocorrência do defeito).

Para 12 das 19 patologias propostas por Shahin, foram elaboradas Árvores de Decisão que podem ser encontradas no Anexo C, adaptadas por Berbel (2016). As Árvores de Decisão devem seguir os critérios de definição dos níveis de severidade, extensão e tráfego indicados na Tabela 7.3:

Tabela 7.3 – Critérios para classificação dos fatores

Nível de Severidade			
	1	2	3
Severidade	Baixa	Média	Alta
Nível de Extensão de Defeito			
	1		2
Extensão	Pequena (< 50%)		Grande (>50%)
Nível de Tráfego			
VDM (x1000)	1 – Leve	2 – Médio	3 – Pesado
Tráfego	<1	1 – 5	>5

Fonte: Shahin, 2005 *apud* Berbel, 2016

Das manifestações patológicas encontradas, sete foram analisadas conforme as Árvores de Decisão. Apenas as depressões, empurrões e fissuras de borda e a única elevação encontradas não foram analisadas conforme a ferramenta, por não constarem na lista de patologias para as quais a ferramenta abrange.

Para a análise, foi considerado que, por ser uma via arterial, a Avenida César Lattes possui tráfego de nível 2 (médio). Como critério distintivo entre extensões pequenas e grandes, adotou-se que extensões superiores a 5 metros são consideradas grandes. As cores cinza e azul representam as ocorrências nos trechos 01 e 02, respectivamente.

Para fissuras, as intervenções sugeridas envolvem aplicação de capa selante e micro revestimento, conforme observa-se na Tabela 7.4 e na Tabela 7.5. As fissuras em blocos e a fissura por reflexão de juntas estão apresentadas na Figura 7.19 e na Figura 7.20, respectivamente.

Tabela 7.4 – Intervenções sugeridas para fissuras em blocos

Nº	PATOLOGIA	SEVERIDADE	EXTENSÃO	ATIVIDADE DE M&R
15	FISSURAS EM BLOCOS	2	2	CAPA SELANTE + MICRO REVESTIMENTO
66	FISSURAS EM BLOCOS	2	2	CAPA SELANTE + MICRO REVESTIMENTO
38	FISSURAS EM BLOCOS	2	1	CAPA SELANTE
40, 52	FISSURAS EM BLOCOS	2	1	CAPA SELANTE
62	FISSURAS EM BLOCOS	1	1	NÃO FAZER NADA

Fonte: Autoria própria.

Tabela 7.5 – Intervenções para fissuras por reflexão de juntas

Nº	PATOLOGIA	SEVERIDADE	ATIVIDADE DE M&R
8	FISSURAS POR REFLEXÃO DE JUNTAS	2	CAPA SELANTE + MICRO REVESTIMENTO

Fonte: Autoria própria.

Figura 7.19 – Fissuras em blocos



Fonte: Autoria própria.

Figura 7.20 – Patologia nº 8: Fissura por reflexão de juntas



Fonte: Autoria própria.

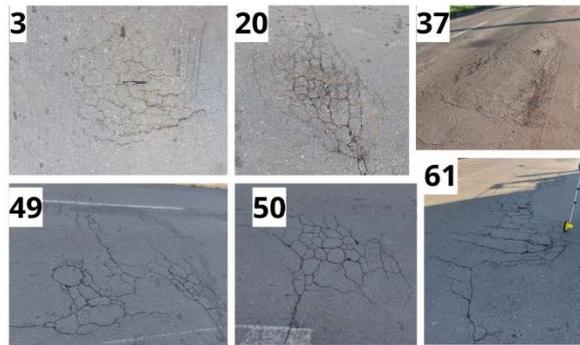
A Tabela 7.6 expressa as intervenções sugeridas para couros de jacaré, onde remendos e recapeamentos são mais recomendados à medida que a severidade da patologia aumenta. A Figura 7.21 mostra exemplos de couros de jacaré de alta severidade.

Tabela 7.6 – Intervenções sugeridas para couros de jacaré

Nº	PATOLOGIA	SEVERIDADE	EXTENSÃO	TRÁFEGO	ATIVIDADE DE M&R
2, 26, 37	COURO DE JACARÉ	3	2	2	RECAPEAMENTO
54, 55	COURO DE JACARÉ	3	2	2	RECAPEAMENTO
3, 20	COURO DE JACARÉ	3	1	2	REMENDO
49, 50, 58, 61	COURO DE JACARÉ	3	1	2	REMENDO
24	COURO DE JACARÉ	2	2	2	MICRO REVESTIMENTO
47, 48	COURO DE JACARÉ	2	2	2	MICRO REVESTIMENTO
63	COURO DE JACARÉ	1	2	2	CAPA SELANTE

Fonte: Autoria própria.

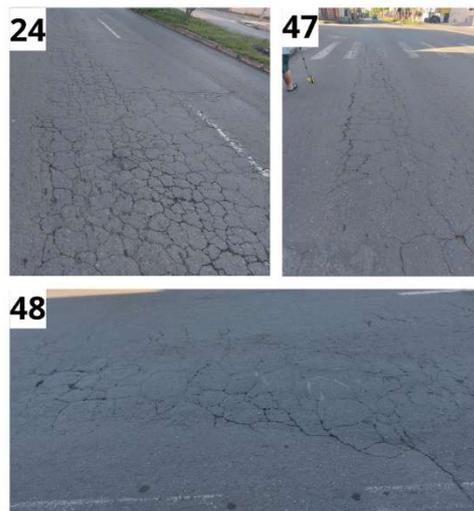
Figura 7.21 – Couro de jacaré de alta severidade



Fonte: Autoria própria.

Para severidades médias e baixas, conforme mostrado nas Figuras 7.22 e 7.23, o micro revestimento e a capa selante são intervenções menos apropriadas.

Figura 7.22 – Couros de jacaré de média severidade



Fonte: Autoria própria.

Figura 7.23 – Patologia nº 63: Couro de jacaré de baixa severidade



Fonte: Autoria própria.

A Tabela 7.7 expressa as intervenções sugeridas para remendos. Para remendos de maior severidade, como exemplificado na Figura 7.24, o mais indicado é fazer um novo remendo.

Tabela 7.7 – Intervenções sugeridas para remendos

Nº	PATOLOGIA	SEVERIDADE	ATIVIDADE DE M&R
5, 28	REMENDOS	3	REMENDO
43, 44, 53, 56, 57, 59, 65, 69	REMENDOS	3	REMENDO
13, 14, 17, 23, 32, 33, 36	REMENDOS	1	NÃO FAZER NADA
39, 42, 46, 60	REMENDOS	1	NÃO FAZER NADA
16, 25, 35	REMENDOS	2	SELANTE + TRATAMENTO SUPERFICIAL
41, 45, 51, 64, 67, 68	REMENDOS	2	SELANTE + TRATAMENTO SUPERFICIAL

Fonte: Autoria própria.

Figura 7.24 – Remendos de alta severidade



Fonte: Autoria própria.

Quando os remendos possuem severidade média, como os apresentados na Figura 7.25, sugere-se aplicar capa selante e a realização de tratamento superficial. No entanto, para severidades baixas, vide Figura 7.26, nenhuma intervenção é recomendada.

Figura 7.25 – Remendos de média severidade



Fonte: Autoria própria.

Figura 7.26 – Remendos de baixa severidade



Fonte: Autoria própria.

Conforme Tabela 7.8, foram encontradas quatro panelas – apresentadas na Figura 7.27 –, uma corrugação e uma exsudação. Para as duas panelas de severidade baixa, recomendou-se preenchimento de buracos. Para as duas panelas de severidade alta, foi recomendada ação conjunta de remendo e drenagem.

Tabela 7.8 – Intervenções para panelas, corrugação e exsudação

Nº	PATOLOGIA	SEVERIDADE	ATIVIDADE DE M&R
1, 11	PANELAS	1	PREENCHIMENTO DE BURACOS
29, 31		3	REMENDO + DRENAGEM
34	CORRUGAÇÃO	3	RECONSTRUÇÃO
6, 7	EXSUDAÇÃO	2	APLICAÇÃO DE AREIA QUENTE

Fonte: Autoria própria.

Figura 7.27 – Panelas



Fonte: Autoria própria.

Para os casos únicos de corrugação e exsudação, apresentados na Figura 7.28, foram sugeridas reconstrução do pavimento e aplicação de areia quente, sendo esta última aplicada para regularização ou reforço de pavimentos.

Figura 7.28 – Corrugação (à esquerda) e Exsudação (à direita)



Fonte: Autoria própria.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A aplicação do Método PCI nos trechos 01 e 02 da Avenida César Lattes resultou em um PCI igual a 53,5, pavimento regular, considerado “pobre” e insatisfatório. Esse resultado indicou que intervenções globais devem ser aplicadas para melhorar a condição do pavimento.

A aplicação do Método PCI foi possível após o levantamento dos defeitos estabelecidos pelo Método PCI, definidos por Shahin (2005).

É recomendável, portanto, a aplicação em mais trechos de via para consolidação da aplicabilidade do método em rodovias e vias urbanas do Brasil. Haja vista que a partir da metodologia do PCI pode-se racionalizar a aplicação de recursos financeiros, a aplicação do método pode ser de grande valia em um SGP. Assim, com os recursos bem aplicados na melhoria do nível de serviço das vias, mais recursos poderão ser aplicados em outras necessidades.

A partir do embasamento teórico e da análise dos resultados, constatou-se que o método PCI é uma ferramenta completa que pode ser a base para a implantação de um SGP. No entanto, o método não é de fácil aplicação, demandando um longo processo de coleta e análise dos dados. Além disso, notou-se elevada subjetividade na avaliação, especialmente em relação à classificação dos níveis de severidade, fator determinante para o valor do PCI.

No PCI, a objetividade torna a avaliação imune às diversas variáveis encontradas. Como o método não é amplamente utilizado no Brasil, a implantação de avaliações subjetivas resultaria em divergências entre profissionais familiarizados com o método e profissionais iniciantes.

Tais divergências tenderiam a diminuir conforme a experiência adquirida em aplicações ao longo do tempo, o que implicaria em necessários investimentos em capacitação, seguido de um período de testes, para finalmente consolidar a confiabilidade da avaliação subjetiva em relação à objetiva.

Portanto, faz-se necessário investimento financeiro e técnico para se obter a plena operação do SGP em um determinado bairro, cidade, estado ou país. Desta forma, os elevados custos de implantação do PCI automatizado e os resultados obtidos a longo prazo tornam o método uma opção viável, uma vez que a automatização torna a avaliação objetiva aplicável a extensas malhas viárias, devido a facilidade na coleta e mapeamento de dados e a redução do

tempo de análise. Assim, tais fatores contribuem conjuntamente para permitir o emprego do PCI em futuras análises de condição de pavimentos brasileiros.

REFERÊNCIAS

AGEHAB. **Moradores do Setor Novo Horizonte recebem Cheque Comunitário na festa de 42 anos do bairro.** Disponível em: <<https://goias.gov.br/agehab/moradores-do-setor-novo-horizonte-recebem-cheque-comunitario-na-festa-de-42-anos-do-bairro/>>.

AGETOP. **Manual de Pavimentação Urbana.** Instrução Técnica (IT-02). 2016. Goiânia, 2016. 60 p.

ALBUQUERQUE, Tairone Paz e. **Índice de condição baseado em defeitos superficiais para gerência de pavimentos urbanos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. 140 p. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/12835>>.

ANTIKEFAN. **Römische Straßen, Brücken und Tunnel. "Via est vita" - Straße ist Leben.** 2024. Disponível em: <<http://www.antikefan.de/themen/strassen/strassen.html#oben>>.

APS, Marcia *et al.* **Avaliação Superficial de Pavimentos Asfálticos em vias urbanas utilizando o Método PCI.** 31ª Reunião Anual de Pavimentação. 1998. 17 p. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/ptr/lmp/download/Abpv98II.PDF>>.

ARQUIVO NACIONAL. Centro de Referência de Acervos Presidenciais. **1926-1930 | Washington Luís.** 2024. Disponível em: <<https://presidentes.an.gov.br/index.php/arquivo-nacional/58-servicos/descricoes-arquivisticas/162-washington-luis>>.

ASPHALT INSTITUTE. **E. J. DeSmedt.** 2024. Disponível em: <<https://www.asphaltinstitute.org/timeline/roh-1965-e-j-desmedt/>>.

ASTM. **ASTM D 6433–07 – Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.** 2007. 48 p.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 560 p.

BERBEL, Mauê Foloni. **Aplicação do Método do PCI – Paviment Conditions Index – para determinação de serviços de restauração e manutenção em um trecho da Avenida Tupi de Pato Branco-PR.** Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016. 122 p.

BERNUCCI, Leidi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.** 2. ed. Rio de Janeiro: Petrobras; ABEDA, 2008. 750 p.

BOYAPATI, Bharath. KUMAR, R. Prasanna. **Prioritisation of pavement maintenance based on pavement condition index.** Indian Journal of Science and Technology. 2015. 5 p.

CITY AND COUNTY OF SAN FRANCISCO. **Pavement condition index (PCI).** 2024. Disponível em: <<https://www.sf.gov/data/pavement-condition-index-pci>>.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2024**. – Brasília : CNT : SEST SENAT : ITL, 2024. 224 p. Disponível em: <<https://static.poder360.com.br/2025/03/pesquisa-CNT-anuario-rodovias-2024.pdf>>.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Breve Histórico**. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/historia>>.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. NORMA DNIT 005/2003 – TER. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia**. Rio de Janeiro: 2003. 12 p. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/terminologia-ter/dnit_005_2003_ter-1.pdf>.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Instituto de Pesquisas Rodoviárias: 50 anos**. Rio de Janeiro: 2007. 32 p. (IPR. Publ. 731).

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de conservação rodoviária**. 2. ed. Rio de Janeiro: 2006. 564 p. (IPR. Publ. 710).

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro: 2006. 384 p. (IPR. Publ. 723).

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de gerência de pavimentos**. Rio de Janeiro: 2011. 189 p. (IPR Publ. 745).

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: 2006. 274 p. (IPR Publ. 719).

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Restauração de pavimentos asfálticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: 2006. 310 p. (IPR. Publ. 720).

FAA PAVEAIR. **Pavement Condition Index (PCI)**. 2024. Disponível em: <<https://faapaveair.faa.gov/Help/index.html?AspxAutoDetectCookieSupport=1#!Documents/pavementconditionindexpci.htm>>.

FERREIRA, Luiz Claudio. **Nascido há 100 anos, César Lattes fez descoberta que marcou a física**. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-07/nascido-ha-100-anos-cesar-lattes-fez-descoberta-que-marcou-fisica>>.

FREITAS, Caio Coelho de. CORTEZIA, Danilo Augusto Divino. **Estudo das principais patologias em pavimento – Estudo de Caso – Trecho GO 241 – UHE Serra da Mesa, Minaçu-GO**. Trabalho de Conclusão de Curso. Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 2020.

FREITAS, Simone Araújo de. **Arborização da Av. César Lattes, Setor Novo Horizonte – Município de Goiânia: um estudo de caso.** IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2012. Artigo. 9 p. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/VI-008.pdf>>.

GOIÂNIA. Diário Oficial do Município. **Edição nº 316 de 02 de maio de 1973.** Disponível em:<https://www.goiania.go.gov.br/Download/legislacao/diariooficial/1973/do_19730502_00000316.pdf>.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Notas de aula da disciplina Pavimentação.** Universidade Federal de Juiz de Fora, 2006. 210 p. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/pavimentacao/>>.

MTC. Metropolitan Transportation Commission. **Pavement Conditions Index (PCI).** 2024. Disponível em: <<https://mtc.ca.gov/operations/programs-projects/streets-roads-arterials/pavement-condition-index>>.

NOLETO, Bárbara. **Quem foi César Lattes, brasileiro homenageado pelo Google e que dá nome a avenida de Goiânia.** 2024. Disponível em: <<https://www.jornalopcao.com.br/ultimas-noticias/quem-foi-cesar-lattes-brasileiro-homenageado-pelo-google-e-que-da-nome-a-avenida-de-goiania-619837/>>.

PÁEZ, Edgar Misael Arévalo. FERNANDES JÚNIOR, José Leomar. **Índice de Condição de Pavimento na implantação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos.** Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos. Artigo científico. 2013, 4 p. Disponível em: <https://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2013/209_RT.pdf>.

PINATT, Jéssica Marcomini *et al.* **Evaluation of pavement condition index by different methods: Case study of Maringá, Brazil.** Elsevier. Science Direct. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. Volume 4. 2020. 10 p. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198220300117>>.

RIJAL, Psalmen Hasibuan. MEDIS, Sejahtera Surbakti. **Study of Pavement Condition Index (PCI) relationship with International Roughness Index (IRI) on Flexible Pavement.** MATEC Web of Conferences. International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials (SCESCM 2018). Vol. 258, 2019. 6 p. Disponível em: <https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2019/07/mateconf_scscsm2019_03019.pdf>.

RUIZ-PADILLO, Alejandro *et al.* **Projeto Geométrico de Rodovias**. Santa Maria: UFSM, Centro de Tecnologia, Laboratório de Mobilidade e Logística. 2023. 169 p.

SHAHIN, M. Y. **Pavement Management for Airport, Road and Parking Lots**. Second Edition. Springer. New York: 2005. 572 p.

SILVA, Jhenifer de Paula da. **Aplicação do Método do IGG – Índice de Gravidade Global – em comparação com o Método do PCI – Pavement Condition Index – para determinação de serviços de restauração e manutenção em um trecho da Avenida Tupi de Pato Branco-PR**. 2018. 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

SILVA, Karen Amanda Barbosa da *et al.* **Avaliação de Pavimentos: Escala Visual Versus Pavement Condition Index**. Artigo. Revista de Engenharia e Tecnologia. Vol. 12, Nº 1. 2020. 10 p. Disponível em: <<https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/14420/209209213125>>.

SILVA, Matheus *et al.* **Análise de um índice de classificação da condição de pavimentos flexíveis urbanos**. Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão. Paranaguá, v.6, n.2, p. 332-01, 332-19, 2021.

STANTEC. **City of Waseca 2020 Pavement Management Analysis Summary Report**. 2020. Tonawanda: 32 p. Disponível em: <https://www.ci.waseca.mn.us/sites/g/files/vyhlf5156/f/uploads/stantec_pci_report.pdf>.

TAVARES, Ronaldo Starling *et al.* **Drenagem, pavimentação e urbanização de vias**. 1. ed. Brasília: Confea; Crea-DF; ABEPv, 2015. 280 p.

UCPRC. University of California – Pavement Research. **Best Practices for Pavement: Pavement Condition Index (PCI). There's More (and Less) to the Score**. 2021. Disponível em: <<https://www.ucprc.ucdavis.edu/ccpic/pdf/PCI%204-Page%20final%20v2.pdf>>.

VIEIRA, Suyanne Alves *et al.* **Análise Comparativa de Metodologias de Avaliação de Pavimentos através do IGG e PCI**. Revista Conexões: Ciência e Tecnologia. Fortaleza, 2016. V. 10, n. 3, p. 20- 30. 11 p. Disponível em: <<https://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/799/776>>.

APÊNDICES

APÊNDICE A – PATOLOGIAS PARA PAVIMENTOS FLEXÍVEIS (PCI)

01 Couro de jacaré *Alligator cracking/fatigue cracking*

CAUSA: CARREGAMENTO MEDIDA: ÁREA

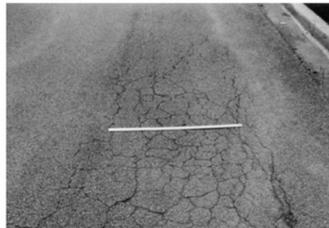
Conjunto de fissuras que se conectam, apresentando a forma de polígonos com vértices de ângulos agudos, semelhantes à pele de jacaré ou telas de arame. São causadas por fadiga, devido à repetidas cargas de tráfego – portanto, são mais frequentes nas trilhas de roda. As fissuras se formam na parte inferior da superfície asfáltica, onde a tensão de tração e a deformação são maiores. As fissuras se propagam para a superfície inicialmente como uma série de fissuras longitudinais paralelas. Após repetidas cargas de tráfego, as fissuras se conectam, formando os polígonos característicos. **Se tais polígonos se formam em uma área não sujeita a carregamento, trata-se das fissuras em bloco, que não estão relacionadas às cargas de tráfego.** A maior dificuldade em medir esse tipo de dano é que dois ou três níveis de gravidade frequentemente existem dentro de uma mesma área. Se essas porções puderem ser facilmente distinguidas umas das outras, elas devem ser medidas e registradas separadamente; no entanto, se os diferentes níveis de gravidade não puderem ser divididos facilmente, a área inteira deve ser classificada na maior gravidade presente. **Se ocorrerem fissuras de couro de jacaré e depressão nas trilhas de roda na mesma área, cada um será registrado separadamente com seu respectivo nível de gravidade.**

SEVERIDADE: BAIXA



Fissuras capilares isoladas, com pouca interconexão entre si, sendo encontradas nas trilhas e sem erosão de borda

SEVERIDADE: MÉDIA



Trincas com aberturas inferiores a 2 mm, interligadas e com pouca erosão nos bordos

SEVERIDADE: ALTA



Apresenta-se na forma de polígonos nítidos e com erosão nos bordos.

02 Exsudação *Bleeding*

CAUSA: OUTRAS MEDIDA: ÁREA

A exsudação ou sangramento é um defeito de superfície causado pela dilatação do asfalto devido ao calor excessivo, por excesso de ligante (cimento asfáltico ou alcatrão), aplicação excessiva de selante betuminoso ou pelo baixo índice de vazios. Esse defeito cria uma película de material betuminoso na superfície do pavimento, tornando a superfície brilhante e refletora (semelhante a um vidro) e bastante pegajosa, devido ao acúmulo de ligante betuminoso. Além disso, o calor também pode causar a diminuição da viscosidade do asfalto. O asfalto preenche os vazios da mistura durante o calor e depois se expande para a superfície do pavimento. Como o processo não é reversível durante o tempo frio, o ligante se acumula na superfície. **Se a exsudação for contabilizada, o agregado polido não deve ser contabilizado.**

SEVERIDADE: BAIXA



Exsudação leve, perceptível durante alguns dias do ano. O asfalto não gruda em sapatos ou veículos

SEVERIDADE: MÉDIA



Exsudação mediana, a ponto do asfalto grudar em sapatos e veículos; perceptível durante algumas semanas do ano

SEVERIDADE: ALTA



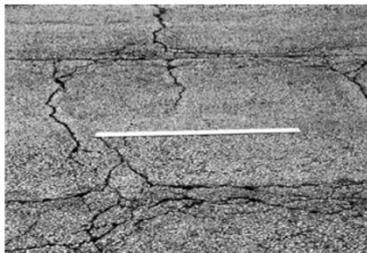
Exsudação extensiva, onde o asfalto adere aos sapatos e veículos; perceptível durante várias semanas do ano

03 Fissuras em blocos *Block cracking*

CAUSA: CLIMA MEDIDA: ÁREA

As fissuras em blocos são fissuras interconectadas que dividem o pavimento em peças que se caracterizam pelo seu formato retangular, podendo ocorrer em qualquer lugar da pista. Os retângulos podem variar de tamanho desde 0,3x0,3 m até 3x3 m. A principal causa desse tipo de defeito é a retração do revestimento asfáltico e da base em virtude da variação de temperatura e umidade durante o dia. **Geralmente ocorrem em um nível de gravidade em uma determinada seção do pavimento; no entanto, se áreas de diferentes níveis de gravidade puderem ser facilmente distinguidas umas das outras, elas devem ser medidas e registradas separadamente.**

SEVERIDADE: BAIXA



Abertura da trinca inferior a 1 mm. Sem erosão de bordo

SEVERIDADE: MÉDIA



Abertura da trinca entre 1 e 3 mm. Sem erosão de bordo

SEVERIDADE: ALTA



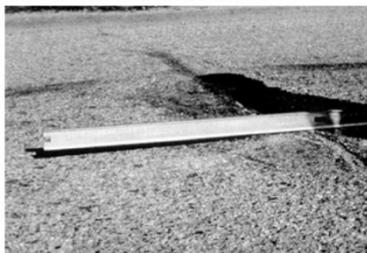
Abertura da trinca superior a 1 mm. Com erosão de bordo

04 Elevações e recalques *Bumps and sags*

CAUSA: OUTRAS MEDIDA: METRO LINEAR

As elevações ou saliências são pequenos deslocamentos localizados para cima da superfície do pavimento. Eles são diferentes dos empurrões, pois os empurrões são causados por pavimento instável. Os solavancos, por outro lado, podem ser causados por vários fatores, como: a) flambagem ou abaulamento de lajes de Concreto de Cimento Portland (CCP) subjacentes em sobreposição de Concreto Asfáltico sobre pavimento de CCP; b) elevação por geada; ou c) infiltração e acúmulo de material em uma fissura em combinação com carga de tráfego (às vezes chamada de "tenting"). Os afundamentos ou recalques são pequenos deslocamentos abruptos para baixo da superfície do pavimento. **Se os recalques aparecem em um padrão perpendicular ao fluxo de tráfego e estão espaçados a menos de 3 m, trata-se de corrugações. Distorção e deslocamento que ocorrem em grandes áreas da superfície do pavimento, causando grandes ou longos mergulhos, ou ambos, no pavimento devem ser registrados como inchamento.**

SEVERIDADE: BAIXA



Elevações e recalques causam qualidade de condução de baixa severidade

SEVERIDADE: MÉDIA



Elevações e recalques causam qualidade de condução de média severidade

SEVERIDADE: ALTA



Elevações e recalques causam qualidade de condução de alta severidade

05 Corrugação *Corrugation/washboarding*

CAUSA: OUTRAS MEDIDA: ÁREA

Caracteriza-se por ondulações bem espaçadas que ocorrem em intervalos bastante regulares, na transversal ao eixo da via e perpendicularmente à direção do tráfego, devido às tensões de cisalhamento, concentrando-se nas elevações e nas curvas. Geralmente é causada pela ação do tráfego combinada com uma superfície ou base de pavimento instável (ou seja, ocorre quando há uma má execução da base e/ou dosagem dos materiais e mistura incorreta por mau dimensionamento).

SEVERIDADE: BAIXA



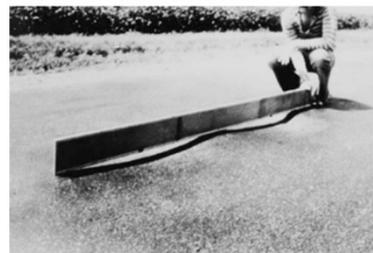
Afeta pouco o rolamento e as velocidades operacionais da via

SEVERIDADE: MÉDIA



O conforto ao rolamento e a velocidade são afetados, mas não a segurança

SEVERIDADE: ALTA



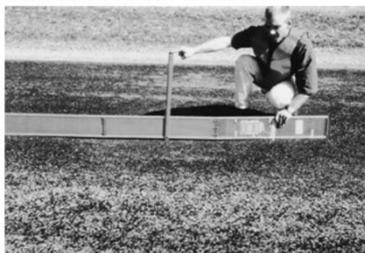
O conforto ao rolamento, a velocidade e a segurança da via são bastante afetados

06 Depressão *Depression*

CAUSA: OUTRAS MEDIDA: ÁREA

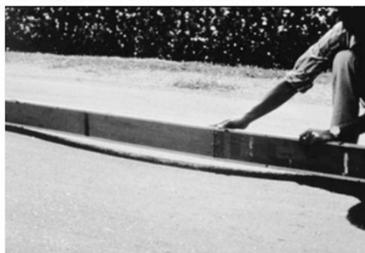
Depressão ou afundamento localizado é a deformação plástica das camadas do subleito e/ou do pavimento, onde a superfície do pavimento apresenta um depressão longitudinal em relação ao restante do pavimento, de até 6 metros de extensão. Em muitos casos, depressões leves não são perceptíveis até o aparecimento da chuva, quando a água parada cria uma espécie de "banheira de pássaros". No pavimento seco, as depressões podem ser identificadas em locais com manchas causadas por água parada. As depressões são causadas pelo assentamento do solo da fundação ou construção inadequados. Depressões leves e médias causam aspereza no pavimento, e, se profundas o suficiente ou cheias de água, podem causar aquaplanagem.

SEVERIDADE: BAIXA



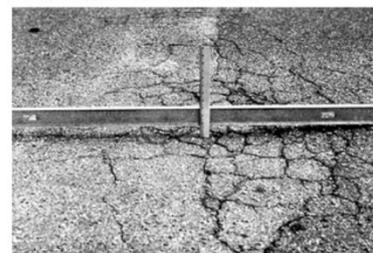
Profundidade: 13 a 25 mm (1/2 a 1")

SEVERIDADE: MÉDIA



Profundidade: 25 a 50 mm (1 a 2")

SEVERIDADE: ALTA



Profundidade: >50 mm (2")

07 Fissuras de borda *Edge cracking*

CAUSA: CARREGAMENTO MEDIDA: METRO LINEAR

As fissuras de borda são paralelas e estão entre 30 e 50 cm da borda do pavimento e geralmente ocorrem quando não há pavimentação no acostamento e existe uma intensa umidade entre as camadas. Esse desgaste é causado pela carga de tráfego ou e por base ou subleito enfraquecidos por geada perto da borda do pavimento. A área entre a fissura e a borda do pavimento é classificada como "desfiada" se estiver quebrada (às vezes até o ponto em que pedaços são removidos).

SEVERIDADE: BAIXA



Trinca não selada com abertura inferior a 3 mm ou trinca selada de qualquer abertura em boas condições. Sem desfiamento

SEVERIDADE: MÉDIA



Trinca não selada com abertura entre 3 e 6 mm ou trinca selada de qualquer abertura de fissuramento. Sem desfiamento

SEVERIDADE: ALTA



Trinca de abertura superior a 6 mm ou trinca selada com qualquer abertura e ruptura severa. Com desfiamento

08 Fissuras por reflexão de juntas *Joint reflection***CAUSA: CLIMA MEDIDA: METRO LINEAR**

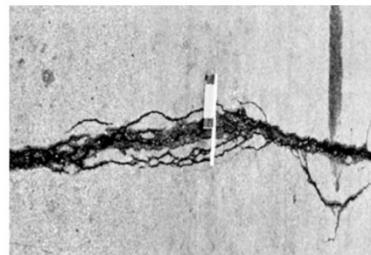
As fissuras nas camadas inferiores já existentes sofrem com as solicitações de cargas e tendem a se expandir ainda mais, causando descontinuidade na distribuição das cargas nas fibras adjacentes. Deste modo, as fibras já não suportam mais as solicitações do tráfego, dando início a um processo de fissuração nos pontos de juntas até que as mesmas atinjam a superfície do pavimento. Essas fissuras ocorrem apenas em pavimentos com superfície asfáltica que foram colocados sobre uma laje de CCP e são causadas principalmente pelo movimento térmico ou induzido por umidade da laje de PCC abaixo da superfície de CA. Apesar de não estar diretamente relacionada, a carga de tráfego pode causar uma quebra da superfície de CA perto da fissura. Se o pavimento estiver fragmentado ao longo de uma fissura, a fissura é chamada de "lascada". O conhecimento da dimensão da laje abaixo da superfície de CA ajuda a identificar essa manifestação patológica. O comprimento e o nível de severidade de cada fissura devem ser identificados e registrados separadamente. Por exemplo, uma fissura de 15 m de comprimento pode ter 3 m de fissuras de alta severidade, que são todas registradas separadamente. Se ocorrer uma saliência na fissura de reflexão, ela também será registrada.

SEVERIDADE: BAIXA

A largura da fissura não preenchida <10 mm (3/8") ou fissura preenchida de qualquer largura (enchimento em condições satisfatórias)

SEVERIDADE: MÉDIA

A largura da fissura não preenchida é maior ou igual a 10 mm (3/8") e <75 mm (3"); fissura não preenchida menor ou igual a 75 mm (3") cercada por fissuras secundárias leves; ou fissura preenchida de qualquer largura cercada por fissuras secundárias leves

SEVERIDADE: ALTA

Qualquer fissura preenchida ou não, cercada por fissuras secundárias de média ou alta gravidade; fissuras não preenchidas >75 mm (3"); ou uma rachadura de qualquer largura onde aproximadamente 100 mm (4") do pavimento ao redor da fissura está severamente desintegrado ou quebrado

09 Desnível de faixa/acostamento *Lane/Shoulder Drop-off***CAUSA: OUTRAS MEDIDA: METRO LINEAR**

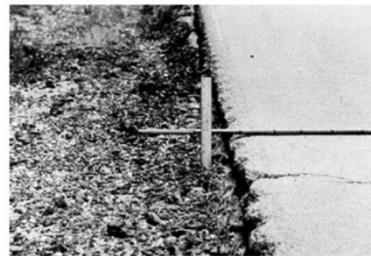
Desnível de faixa/acostamento é uma diferença na elevação entre a borda do pavimento e o acostamento. Esse sofrimento é causado pela erosão do acostamento, assentamento do acostamento ou pela construção da estrada sem ajuste do nível do acostamento. Ou seja, o acostamento não pavimentado sofre erosões ao longo do tempo, fazendo com que a diferença de nível entre a faixa de tráfego e o acostamento aumente.

SEVERIDADE: BAIXA

A diferença de elevação entre a borda do pavimento e o acostamento é >25 mm (1") e <50 mm (2")

SEVERIDADE: MÉDIA

A diferença de elevação é >50 mm (2") e <100 mm (4")

SEVERIDADE: ALTA

A diferença de elevação é >100 mm (4")

10 Fissuras longitudinal e transversal *Longitudinal and transverse cracking* CAUSA: CLIMA MEDIDA: METRO LINEAR

As fissuras longitudinais são paralelas à linha central do pavimento ou à direção de assentamento. Elas podem ser causadas por: a) Uma junta de pista de pavimentação mal construída; ou b) Encolhimento da superfície devido a baixas temperaturas ou endurecimento do asfalto, ou ciclos diários de temperatura, ou ambos. Uma fissura reflexiva causada por fissuras abaixo da camada de superfície, incluindo fissuras em lajes de CCP, mas não em juntas de CCP. As fissuras transversais se estendem pelo pavimento em ângulos aproximadamente retos à linha central do pavimento ou à direção de assentamento. Esses tipos de fissuras geralmente não são associados à carga. O comprimento e a gravidade de cada fissura devem ser registrados. Se a fissura não tiver o mesmo nível de gravidade ao longo de todo o seu comprimento, cada trecho da fissura com um nível de gravidade diferente deve ser registrado separadamente.

SEVERIDADE: BAIXA



A largura da fissura não preenchida <10 mm (3/8") ou fissura preenchida de qualquer largura (enchimento em condições satisfatórias)

SEVERIDADE: MÉDIA



A largura da fissura não preenchida é maior ou igual a 10 mm (3/8") e <75 mm (3"); fissura não preenchida menor ou igual a 75 mm (3") cercada por fissuras secundárias leves; ou fissura preenchida de qualquer largura cercada por fissuras secundárias leves

SEVERIDADE: ALTA



Qualquer fissura preenchida ou não, cercada por fissuras secundárias de média ou alta gravidade; fissuras não preenchidas >75 mm (3"); ou uma rachadura de qualquer largura onde aproximadamente 100 mm (4") do pavimento ao redor da fissura está severamente desintegrado ou quebrado

11 Remendos *Patching and cut utility patching*

CAUSA: OUTRAS MEDIDA: ÁREA

Um remendo é uma área de pavimento que foi substituída por um novo material para reparar o pavimento existente. Um remendo é considerado um defeito, não importa quão bom ele seja (uma área remendada ou área adjacente geralmente não se desempenha tão bem quanto uma seção original do pavimento, ainda que os sejam executados a fim de corrigir alguma anomalia). Geralmente, alguma aspereza está associada aos remendos.

Se um único remendo tiver áreas de gravidade diferente, essas áreas devem ser medidas e registradas separadamente. Por exemplo, um remendo de 2,5 m² pode ter 1 m² de gravidade média e 1,5 m² de gravidade baixa. Essas áreas seriam registradas separadamente. Qualquer dano encontrado em uma área remendada não será registrada; no entanto, seu efeito no remendo será considerado ao determinar o seu nível de gravidade. Mesmo se houver fissuras, a área é classificada apenas como um remendo. Se uma grande quantidade de pavimento tiver sido substituída, ela não deve ser registrada como um remendo, mas considerada como um novo pavimento (por exemplo, a substituição de um cruzamento completo).

SEVERIDADE: BAIXA



O remendo está em boas condições e apresenta nenhuma ou pouca irregularidade. A qualidade do passeio é de baixa gravidade

SEVERIDADE: MÉDIA



O remendo está moderadamente deteriorado e apresenta irregularidade significativa, ou a qualidade do passeio é de gravidade média, ou ambos

SEVERIDADE: ALTA

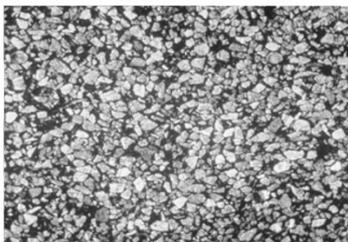


O remendo está muito deteriorado e apresenta muita irregularidade, ou a qualidade do passeio é de alta gravidade, ou ambos; precisa ser substituído em breve

12 Agregado Polido *Polished Aggregate*

CAUSA: OUTRAS MEDIDA: ÁREA

Esse desgaste é causado por aplicações repetidas de tráfego. O agregado polido está presente quando um exame minucioso de um pavimento revela que a porção do agregado que se estende acima do asfalto é muito pequena ou não há partículas de agregado ásperas ou angulares para fornecer boa resistência à derrapagem. Quando o agregado na superfície se torna liso ao toque, a adesão aos pneus de veículos é consideravelmente reduzida. Quando a porção do agregado que se estende acima da superfície é pequena, a textura do pavimento não contribui significativamente para reduzir a velocidade do veículo. O agregado polido deve ser contado quando um exame minucioso revela que o agregado que se estende acima do asfalto é insignificante e o agregado da superfície é liso ao toque. Esse tipo de desgaste é indicado quando o número em um teste de resistência à derrapagem é baixo ou caiu significativamente de uma classificação anterior. Não existem graus de severidade.



O remendo está moderadamente deteriorado e apresenta irregularidade significativa, ou a qualidade do passeio é de gravidade média, ou ambos

13 Painelas *Potholes*

CAUSA: CARREGAMENTO MEDIDA: UNIDADE

Painelas são buracos ou depressões em forma de tigela na superfície do pavimento, que se originam no revestimento asfáltico e pode chegar à base formada com a progressão de trincas, afundamentos ou desgaste. Elas geralmente têm bordas afiadas e lados verticais perto do topo do buraco. Um agente acelerador deste defeito é a água, já que esta pode desagregar ou amolecer as camadas do pavimento de forma mais rápida. São pequenas, geralmente com menos de 750 mm (30") de diâmetro. Se as painelas tiverem diâmetro ≤ 750 mm, são classificadas conforme tabela abaixo. Caso contrário, serão classificadas conforme a profundidade. As painelas são medidas contando-se o número de painelas de baixa, média e alta gravidade (registrando-os separadamente). **Quando as painelas são criadas por fissuras de couro de jacaré de alta severidade, eles devem ser identificados como painelas, não como intemperismo.**

Profundidade Máxima	Diâmetro médio		
	100 a 200 mm (4 a 8")	200 a 450 mm (8 a 18")	450 a 750 mm (18 a 30")
13 mm a ≤ 25 mm ($\frac{1}{2}$ a 1")	Baixa	Baixa	Média
> 25 mm e ≤ 50 mm (1 a 2")	Baixa	Média	Alta
> 50 mm (2")	Média	Média	Alta

SEVERIDADE: BAIXA



Diâmetro 100 a 200 mm (4 a 8") ou 200 a 400 mm (8 a 18") e profundidade 13 a ≤ 25 mm ($\frac{1}{2}$ " a 1") e/ou diâmetro 100 a 200 mm (4 a 8") e profundidade > 25 mm e ≤ 50 mm (1 a 2")

SEVERIDADE: MÉDIA



Diâmetro > 750 mm (30") e profundidade ≤ 25 mm (1")

SEVERIDADE: ALTA



Diâmetro > 750 mm (30") e profundidade > 25 mm (1")

14 Cruzamentos ferroviários *Railroad crossings*

CAUSA: OUTRAS MEDIDA: ÁREA

Cruzamentos ferroviários são depressões ou saliências ao redor ou entre os trilhos, ou ambos. Se não afetar a qualidade do passeio, não deve ser contado. Qualquer grande solavanco criado pelos cruzamentos deve ser contado.

SEVERIDADE: BAIXA



Causa qualidade de passeio de baixa gravidade

SEVERIDADE: MÉDIA



Causa qualidade de passeio de média gravidade

SEVERIDADE: ALTA



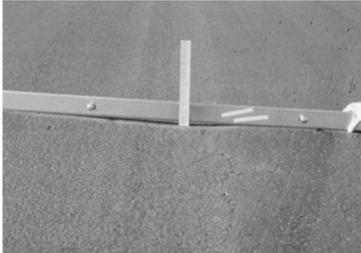
Causa qualidade de passeio de alta gravidade

15 Depressão nas trilhas de roda *Rutting*

CAUSA: CARREGAMENTO MEDIDA: ÁREA

Depressão nas trilhas de roda, sulco ou afundamento localizado nas trilhas de roda é uma depressão superficial nas trilhas de rodas, que apresenta as mesmas características da depressão ou afundamento localizado. A elevação do pavimento pode ocorrer ao longo das laterais do sulco ou depressão, mas, em muitos casos, são perceptíveis somente após uma chuva, quando as trilhas de roda estão cheias de água. Decorrem de uma deformação permanente em qualquer uma das camadas do pavimento ou subleitos, geralmente causada por movimento consolidado ou lateral dos materiais devido à carga do tráfego. A profundidade média do sulco é calculada colocando uma régua reta sobre o sulco, medindo sua profundidade e, em seguida, usando medições feitas ao longo do comprimento do sulco para calcular sua profundidade média em milímetros.

SEVERIDADE: BAIXA



Profundidade: 6 a 13 mm (1/4 a 1/2")

SEVERIDADE: MÉDIA



Profundidade: 13 a 25 mm (1/2 a 1")

SEVERIDADE: ALTA



Profundidade: >25 mm (1")

16 Empurrão *Shoving*

CAUSA: CARREGAMENTO MEDIDA: ÁREA

Shoving ou "empurrão" é um deslocamento longitudinal permanente de uma área localizada da superfície do pavimento causado pela carga do tráfego. Quando o tráfego empurra o pavimento, ele produz uma onda curta e abrupta na superfície do pavimento. Essa aflição normalmente ocorre apenas em pavimentos de mistura asfáltica líquida instável: asfalto recortado (*cut-back*) ou emulsão. Os *shovings* também ocorrem onde os pavimentos de asfalto encostam nos pavimentos de CCP. Os pavimentos de CCP aumentam de comprimento e empurram o pavimento de asfalto, causando o *shoving*. **Shovings que ocorrem em remendos são considerados na classificação do remendo.**

SEVERIDADE: BAIXA



Causa qualidade de passeio de baixa gravidade

SEVERIDADE: MÉDIA



Causa qualidade de passeio de média gravidade

SEVERIDADE: ALTA



Causa qualidade de passeio de alta gravidade

17 Fissuras por escorregamento de massa *Slippage cracking*

CAUSA: OUTRAS MEDIDA: ÁREA

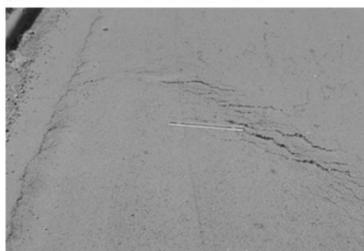
Fissuras por escorregamento de massa são fissuras em forma de lua crescente ou meia-lua, geralmente transversais à direção do percurso. Elas são produzidas quando os veículos aceleram, freiam ou mudam de direção. A frenagem ou o giro das rodas fazem com que a superfície do pavimento deslize ou se deforme. Esse desgaste geralmente ocorre em sobreposições quando há uma ligação ruim entre a superfície e a próxima camada da estrutura do pavimento. A área associada a uma determinada fissura por deslizamento é classificada de acordo com o nível mais alto de gravidade.

SEVERIDADE: BAIXA



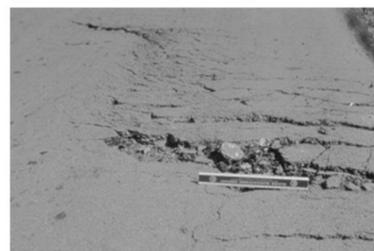
A largura média da fissura é <math><10\text{ mm}</math> (

SEVERIDADE: MÉDIA



A largura média da fissura é ≥ 10 e $< 40\text{ mm}$ ($\geq 3/8$ e $< 1 1/2''$); ou a área ao redor da fissura está moderadamente lascada ou cercada por fissuras secundárias

SEVERIDADE: ALTA



a largura média da fissura é $> 40\text{ mm}$ ($1 1/2''$) ou a área ao redor da fissura está quebrada em pedaços facilmente removíveis

18 Inchamento *Swell*

CAUSA: OUTRAS MEDIDA: ÁREA

O inchamento é caracterizado por uma protuberância ascendente na superfície do pavimento: uma onda longa e gradual com mais de 3 m de comprimento. O inchaço pode ser acompanhado por fissuras na superfície. Essa manifestação geralmente é causada pela ação do gelo no subleito ou pelo inchamento do solo e advém da dilatação entre as camadas do pavimento flexível, a qual se deve a uma abertura gradual das juntas que apresentam problemas relacionados à falta de compressibilidade dos materiais constituintes das mesmas.



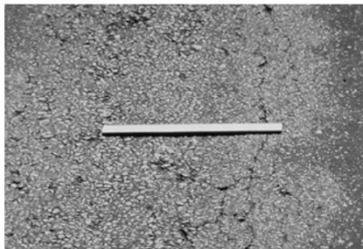
A severidade do inchamento é medida pela qualidade de passeio. Ondas de baixa severidade causam qualidade de passeio de baixa severidade e nem sempre são fáceis de ver, mas podem ser detectadas dirigindo no limite de velocidade sobre a seção do pavimento. Um movimento ascendente ocorrerá na ondulação se ela estiver presente. Inchamentos de média severidade causam qualidade de passeio de média gravidade e inchamentos de alta severidade causam qualidade do passeio de alta gravidade.

19 Intemperismo e desfiamento *Weathering and raveling*

CAUSA: CLIMA MEDIDA: ÁREA

Intemperismo e desfiamento são o desgaste da superfície do pavimento devido à perda de aderência do asfalto ou ligante de alcatrão e desprendimento dos agregados. Esses danos indicam que o ligante asfáltico endureceu consideravelmente ou que uma mistura de baixa qualidade está presente, causando a deficiência dos ligantes. Além disso, o desfiamento pode ser causado por certos tipos de tráfego, como por exemplo, veículos de esteira. O amolecimento da superfície e o desalojamento dos agregados devido ao derramamento de óleo também estão incluídos no desfiamento.

SEVERIDADE: BAIXA



O agregado ou ligante começou a se desgastar. Em algumas áreas, a superfície está começando a formar buracos. No caso de derramamento de óleo, a mancha de óleo pode ser vista, mas a superfície é dura e não pode ser penetrada com uma moeda

SEVERIDADE: MÉDIA



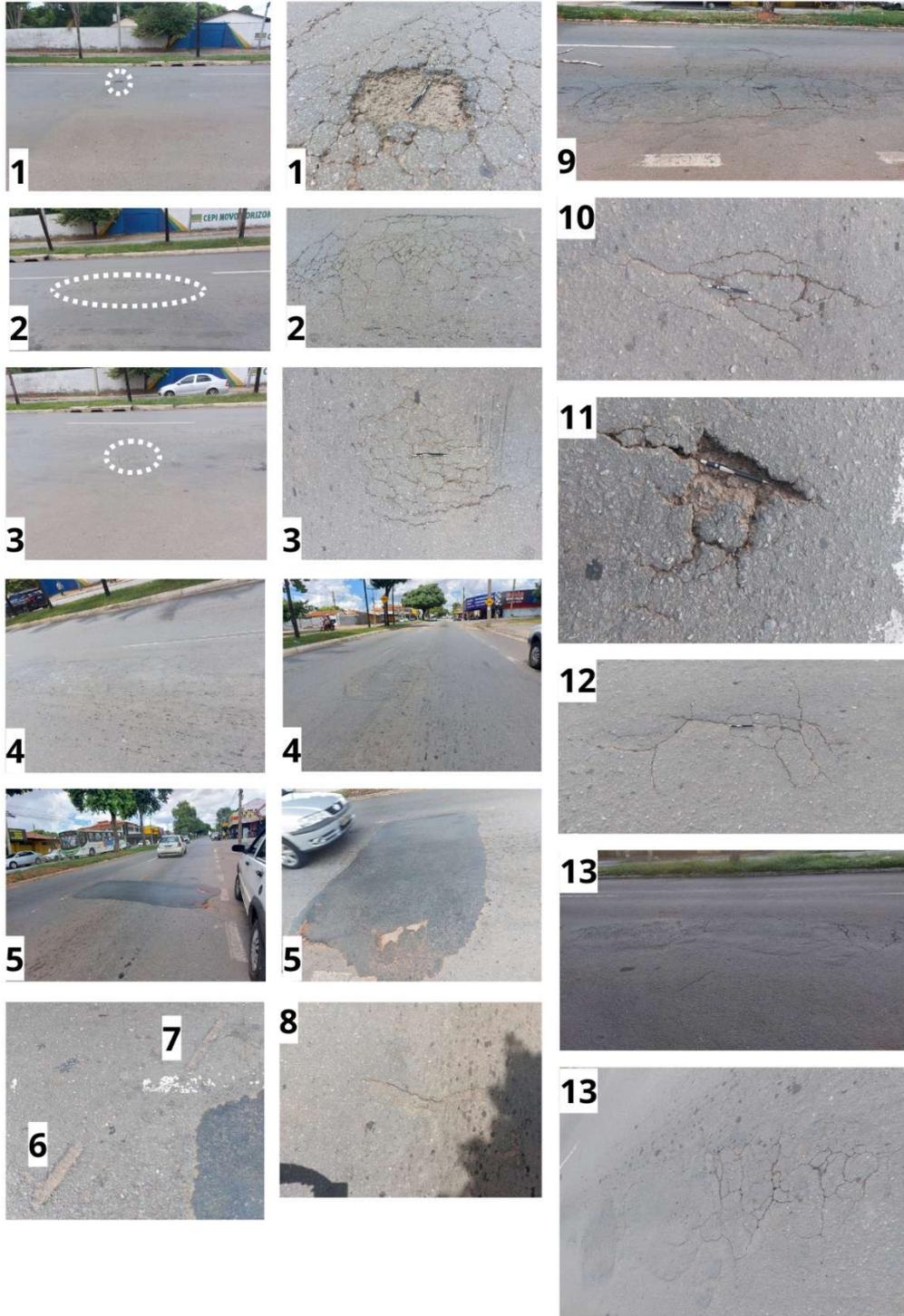
O agregado ou ligante está desgastado. A textura da superfície é moderadamente áspera e com corrosão. No caso de derramamento de óleo, a superfície é macia e pode ser penetrada com uma moeda

SEVERIDADE: ALTA



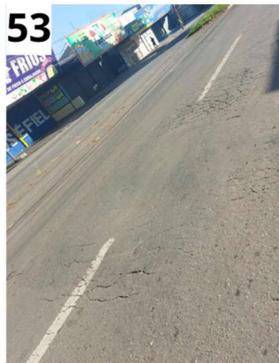
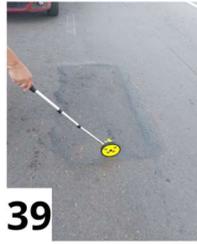
O agregado ou ligante foi consideravelmente desgastado. A textura da superfície é muito áspera e severamente corroída. As áreas corroídas têm menos de 10 mm (4") de diâmetro e menos de 13 mm (1/2") de profundidade; áreas corroídas maiores que isso são contadas como buracos. No caso de derramamento de óleo, o ligante asfáltico perdeu seu efeito de ligação e o agregado se tornou solto

APÊNDICE B – FOTOS DAS PATOLOGIAS DOS TRECHOS 01 E 02











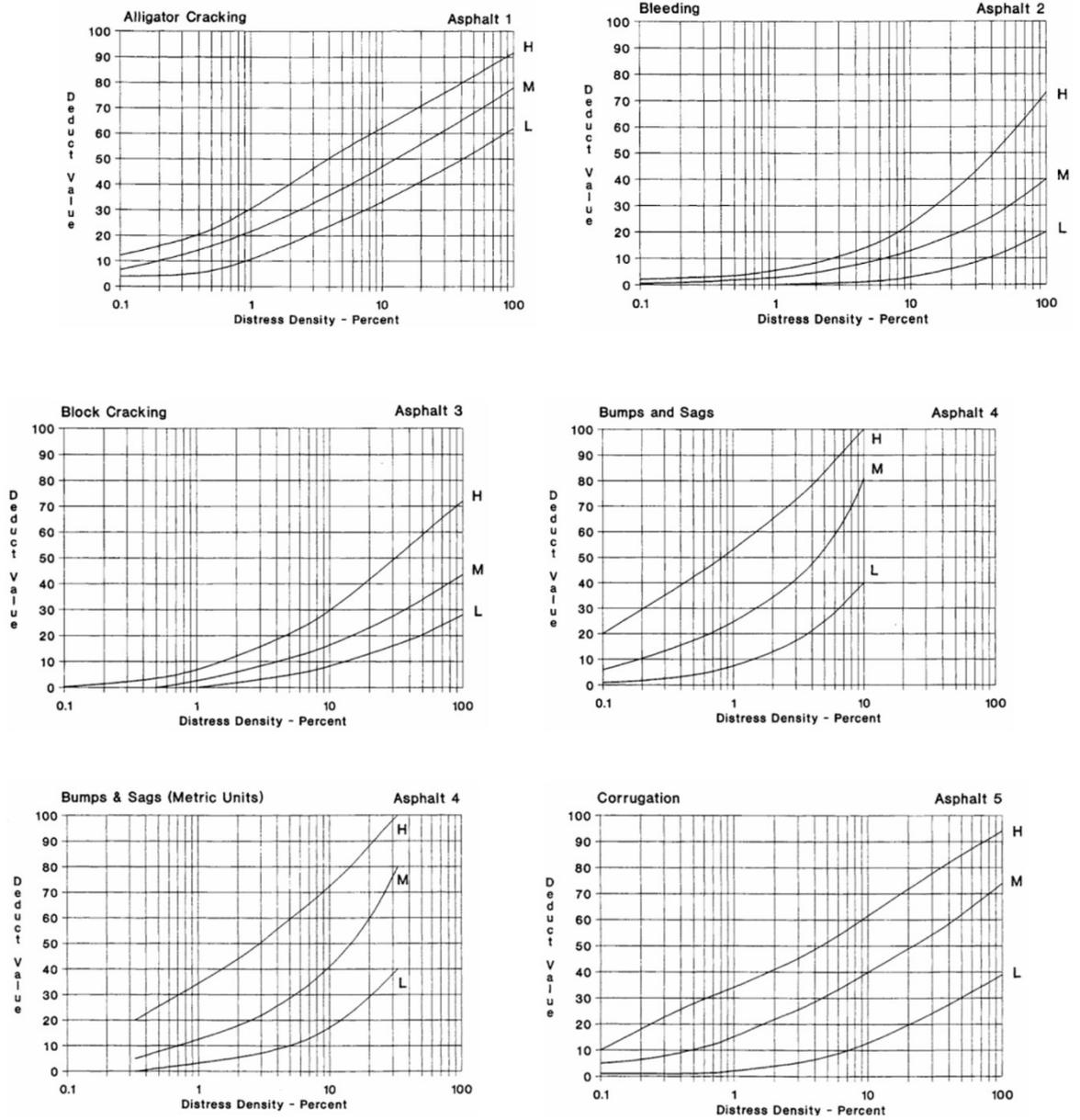
APÊNDICE C – PLANILHA DE LEVANTAMENTO DOS TRECHOS 01 E 02

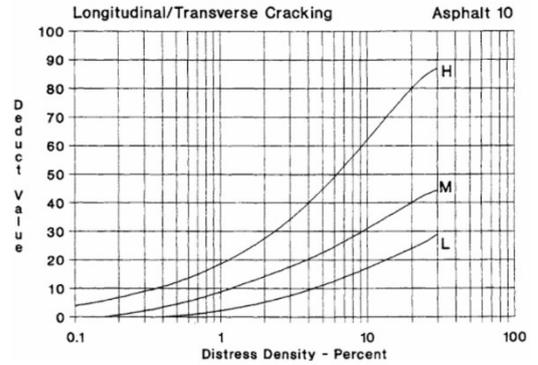
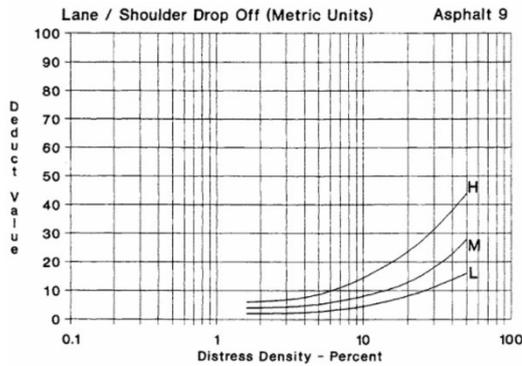
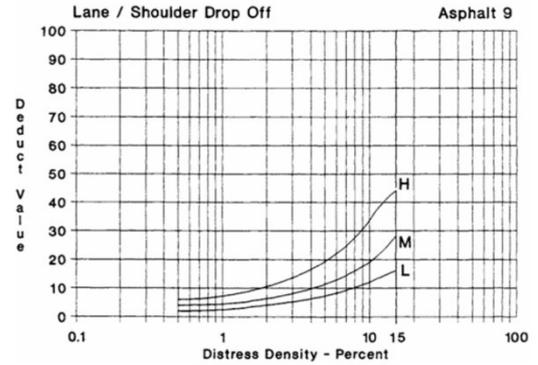
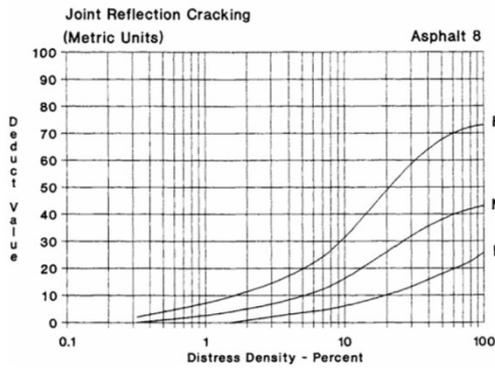
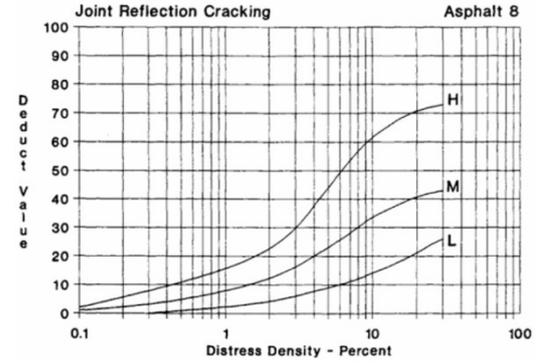
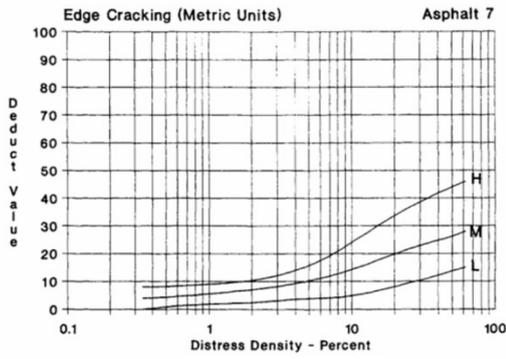
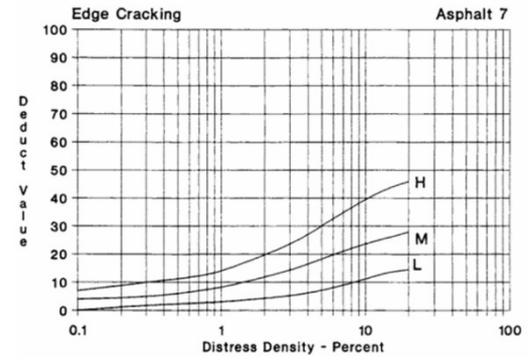
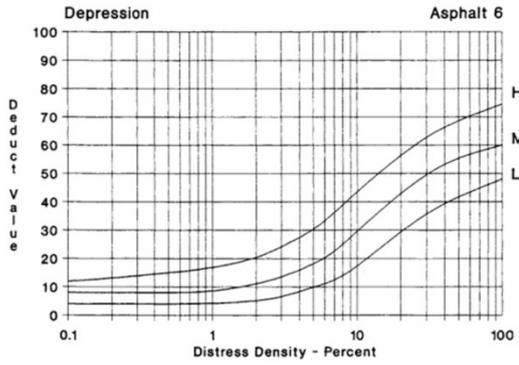
APLICAÇÃO DO MÉTODO PCI NA AVENIDA CÉSAR LATTES - LEVANTAMENTO <i>IN LOCO</i>										
TRECHO 01 (SENTIDO APARECIDA DE GOIÂNIA)		EXTENSÃO (M)	600	LARGURA DA PISTA (M)	8,5	ÁREA (m²)	5100			
DATA DO LEVANTAMENTO: 29 E 30/03/2025						MEDIDA				
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS		SEVERIDADE			ÁREA			UNIDADE	METRO LINEAR (M)	# (ANEXO A)
Nº	NOME EM PORTUGUÊS	BAIXA	MÉDIA	ALTA	EXTENSÃO (M)	LARGURA (M)	ÁREA (M²)			
1	PANELAS	X			-	-	-	1	-	58
2	COURO DE JACARÉ			X	9,7	1,1	10,67	-	-	62
3	COURO DE JACARÉ			X	0,94	0,93	0,874	-	-	28
4	DEPRESSÃO			X	9,5	1,5	14,25	-	-	50
5	REMENDOS			X	8,2	3,6	29,52	-	-	73
6	EXSUDAÇÃO		X		0,04	0,03	0,001	-	-	0
7	EXSUDAÇÃO		X		0,04	0,03	0,001	-	-	0
8	FISSURAS POR REFLEXÃO DE JUNTAS	X	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2
9	DEPRESSÃO			X	9,5	3,2	30,4	-	-	63
10	DEPRESSÃO		X		0,2	0,7	0,14	-	-	8
11	PANELAS	X			-	-	-	1	-	58
12	DEPRESSÃO		X		0,85	0,08	0,068	-	-	0
13	REMENDOS	X			5,3	0,84	4,452	-	-	9
14	REMENDOS	X			7,01	0,85	5,959	-	-	11
15	FISSURAS EM BLOCOS		X		6,3	0,4	2,52	-	-	7
16	REMENDOS		X		1	0,3	0,3	-	-	6
17	REMENDOS	X			0,85	0,08	0,068	-	-	0
18	DEPRESSÃO			X	0,8	0,08	0,064	-	-	0
19	DEPRESSÃO		X		0,68	0,4	0,272	-	-	8
20	COURO DE JACARÉ			X	0,2	0,4	0,08	-	-	12
21	FISSURAS DE BORDA			X	-	-	-	-	400	48
22	EMPURRÃO			X	0,03	400	12	-	-	72
23	REMENDOS	X			3,26	2,3	7,498	-	-	12
24	COURO DE JACARÉ		X		57	2,8	159,6	-	-	78
25	REMENDOS		X		0,85	0,4	0,34	-	-	6
26	COURO DE JACARÉ			X	5,9	2,8	16,52	-	-	66
27	ELEVAÇÃO			X	-	-	-	-	0,096	35
28	REMENDOS			X	2	0,7	1,4	-	-	23
29	PANELAS			X	-	-	-	1	-	100
30	EMPURRÃO		X		0,06	0,04	0,002	-	-	3
31	PANELAS			X	-	-	-	1	-	100
32	REMENDOS	X			0,72	0,53	0,382	-	-	0
33	REMENDOS	X			0,81	0,8	0,648	-	-	2
34	CORRUGAÇÃO			X	4	2	8	-	-	58
35	REMENDOS		X		3	1	3	-	-	18
36	REMENDOS	X			0,87	0,86	0,748	-	-	0,3
37	COURO DE JACARÉ			X	20	3	60	-	-	85
38	FISSURAS EM BLOCOS		X		1	0,5	0,5	-	-	0
SOMA DOS VALORES DE DEDUÇÃO (a) - TRECHO 01									1159,5	

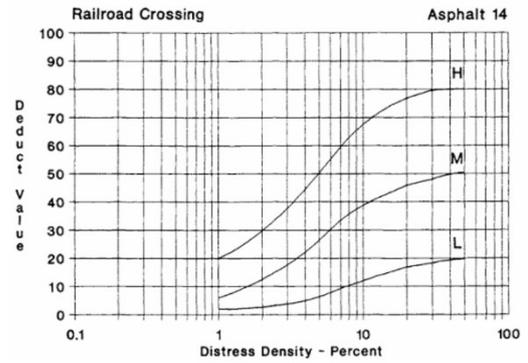
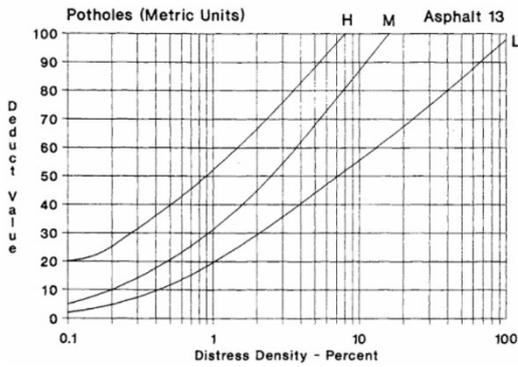
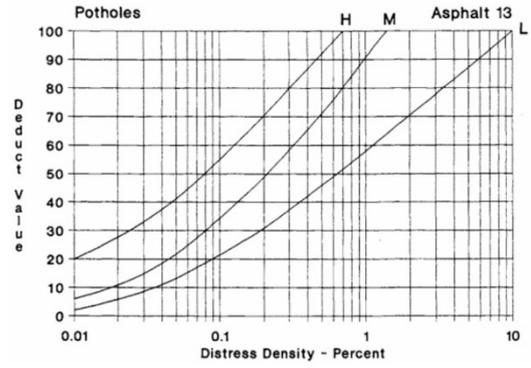
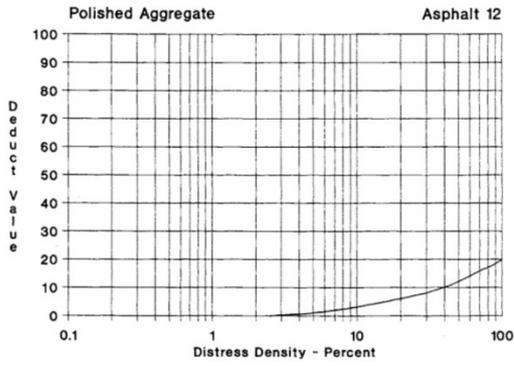
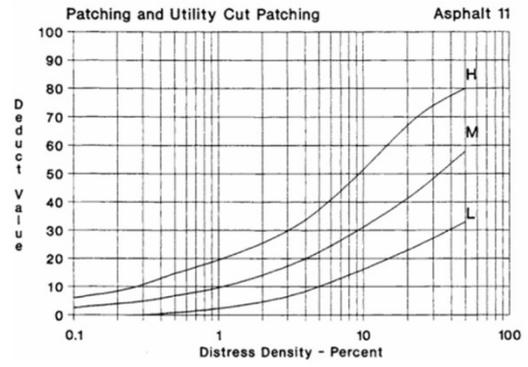
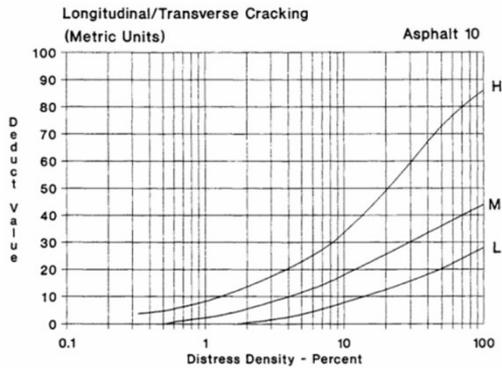
APLICAÇÃO DO MÉTODO PCI NA AVENIDA CÉSAR LATTES - LEVANTAMENTO <i>IN LOCO</i>										
TRECHO 02 (SENTIDO GOIÂNIA)				EXTENSÃO (M)	600	LARGURA DA PISTA (M)	8,5	ÁREA (m ²)	5100	
DATA DO LEVANTAMENTO: 30/03/2025					MEDIDA					
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS		SEVERIDADE			ÁREA			UNIDADE	METRO LINEAR (M)	# (ANEXO A)
Nº	NOME EM PORTUGUÊS	BAIXA	MÉDIA	ALTA	EXTENSÃO (M)	LARGURA (M)	ÁREA (M ²)			
39	REMENDOS	X			1,5	0,7	1,05	-	-	2,5
40	FISSURAS EM BLOCOS		X		4,8	0,5	2,4	-	-	7
41	REMENDOS		X		1,2	0,8	0,96	-	-	9
42	REMENDOS	X			1,5	0,5	0,75	-	-	2,5
43	REMENDOS			X	1,6	0,4	0,64	-	-	17
44	REMENDOS			X	3,3	0,4	1,32	-	-	20
45	REMENDOS		X		8	0,6	4,8	-	-	21
46	REMENDOS	X			3	1,2	3,6	-	-	18
47	COURO DE JACARÉ		X		11	0,6	6,6	-	-	42
48	COURO DE JACARÉ		X		7,3	1,8	13,14	-	-	65
49	COURO DE JACARÉ			X	4,4	3	13,2	-	-	80
50	COURO DE JACARÉ			X	2,6	2,4	6,24	-	-	57
51	REMENDOS		X		1,8	1,6	2,88	-	-	17
52	FISSURAS EM BLOCOS		X		4,4	2,8	12,32	-	-	17
53	REMENDOS			X	3,7	2,3	8,51	-	-	49
54	COURO DE JACARÉ			X	13,4	2,4	32,16	-	-	78
55	COURO DE JACARÉ			X	13,3	2,1	27,93	-	-	80
56	REMENDOS			X	2,6	4,3	11,18	-	-	52
57	REMENDOS			X	3,5	4,5	15,75	-	-	60
58	COURO DE JACARÉ			X	2,7	2,1	5,67	-	-	56
59	REMENDOS			X	2,9	1,9	5,51	-	-	39
60	REMENDOS	X			2,2	0,5	1,1	-	-	3
61	COURO DE JACARÉ			X	3,6	1,6	5,76	-	-	57
62	FISSURAS EM BLOCOS	X			2,6	0,9	2,34	-	-	3
63	COURO DE JACARÉ	X			6,6	3	19,8	-	-	40
64	REMENDOS		X		1,4	0,9	1,26	-	-	10
65	REMENDOS			X	2,1	2,1	4,41	-	-	35
66	FISSURAS EM BLOCOS		X		5,6	3	16,8	-	-	20
67	REMENDOS		X		0,9	0,4	0,36	-	-	16
68	REMENDOS		X		0,7	0,5	0,35	-	-	16
69	REMENDOS			X	1,7	0,95	1,615	-	-	41
SOMA DOS VALORES DE DEDUÇÃO (a) - TRECHO 02										1030

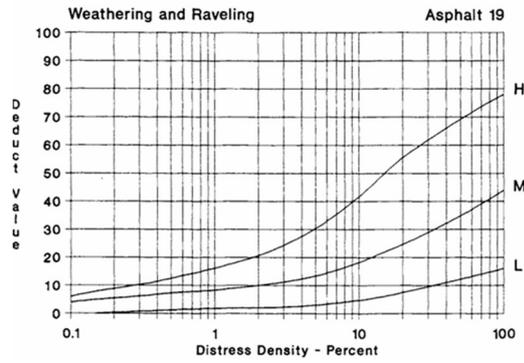
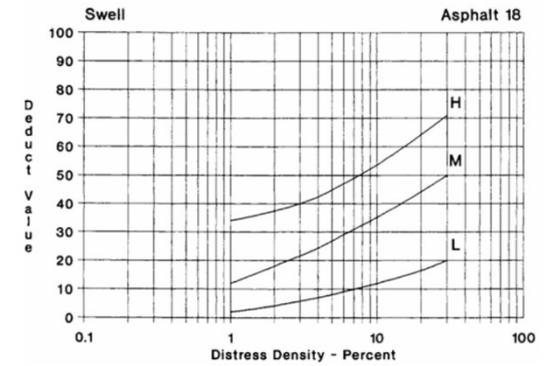
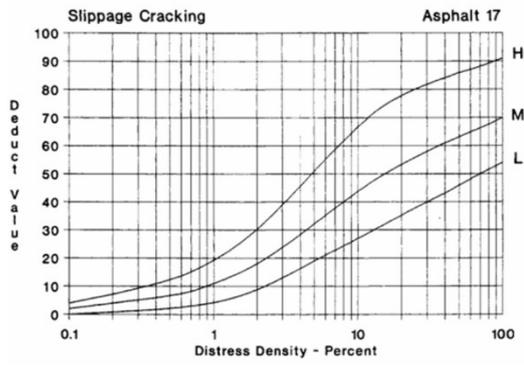
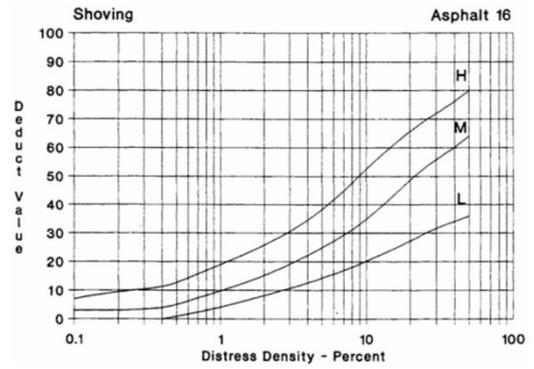
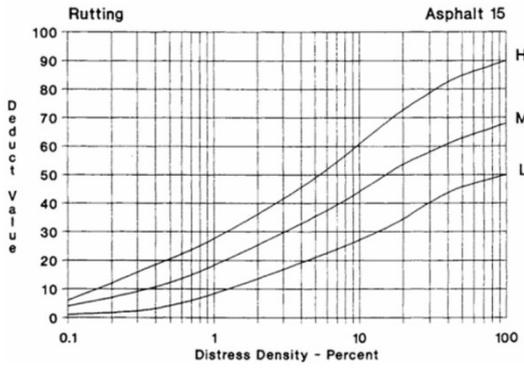
ANEXOS

ANEXO A – VDC para cada tipo de patologia (PCI)

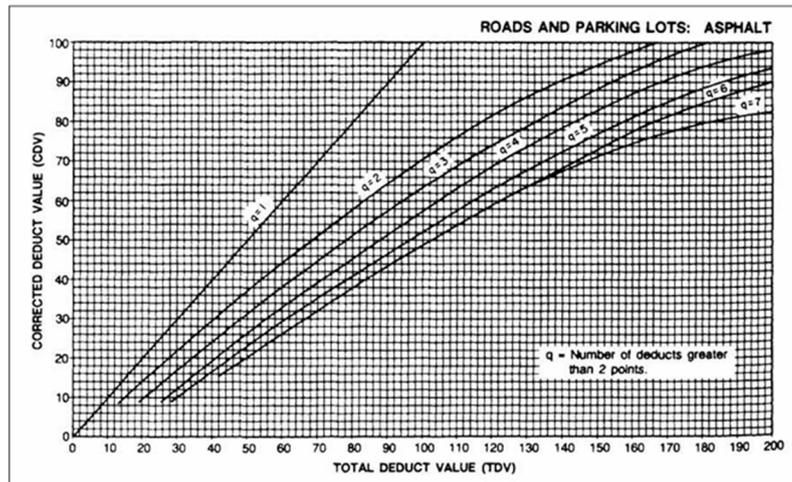








ANEXO B – Curvas para o VDC, em função do VTD e número de patologias numa seção



ANEXO C – Árvores de Decisão

Figura 1 – Fissuras transversais

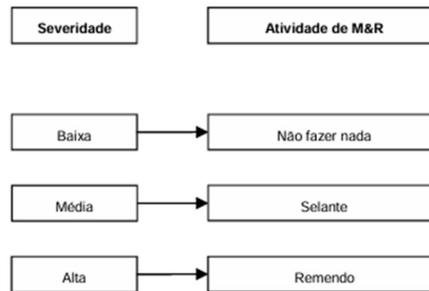


Figura 2 – Fissuras em blocos

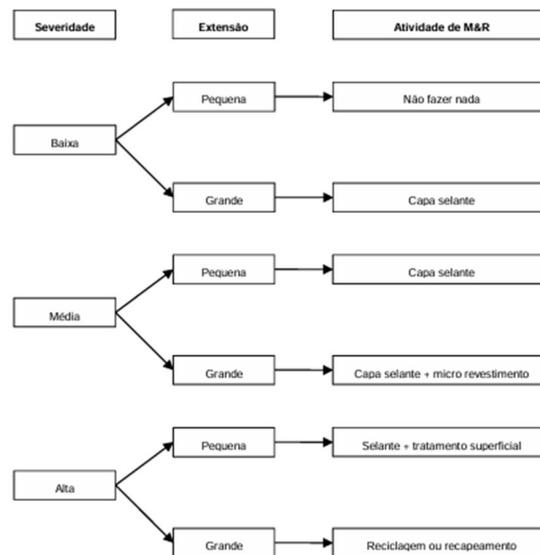


Figura 3 – Fissuras longitudinais



Figura 4 - Couro de jacaré

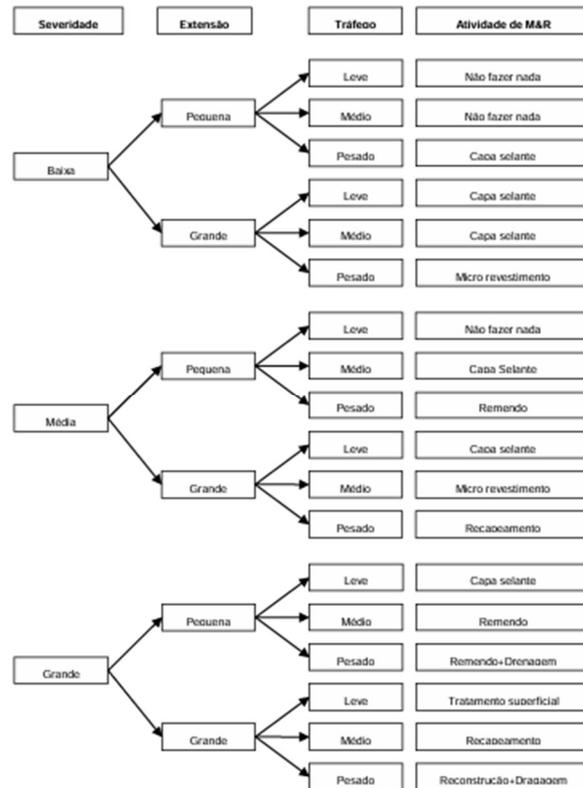


Figura 5 – Fissuras por reflexão de juntas

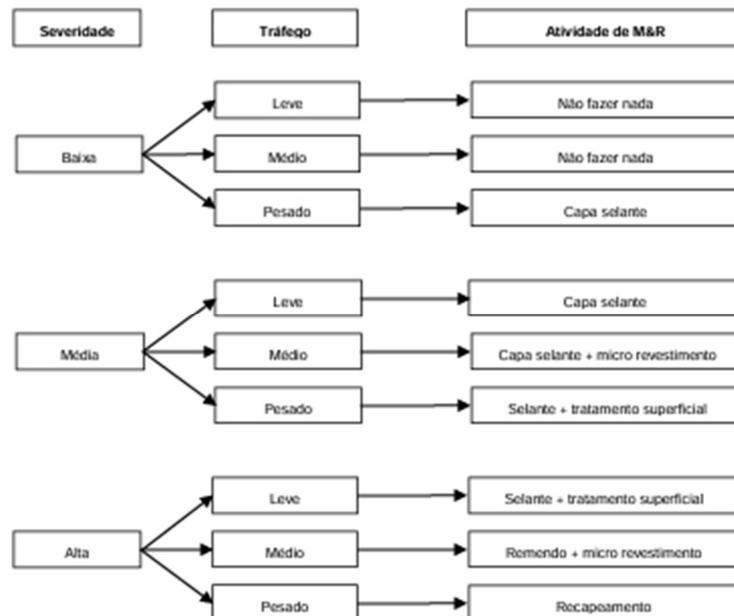


Figura 6 – Remendos



Figura 7 – Panelas



Figura 8 – Corrugação

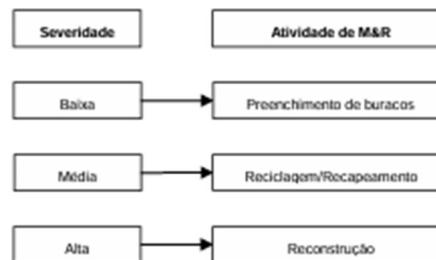


Figura 9 – Exsudação



Figura 10 – Depressão nas trilhas de roda

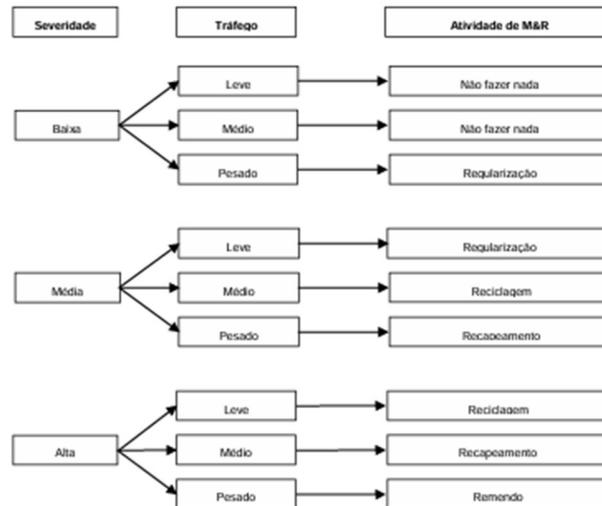


Figura 11 – Agregado polido

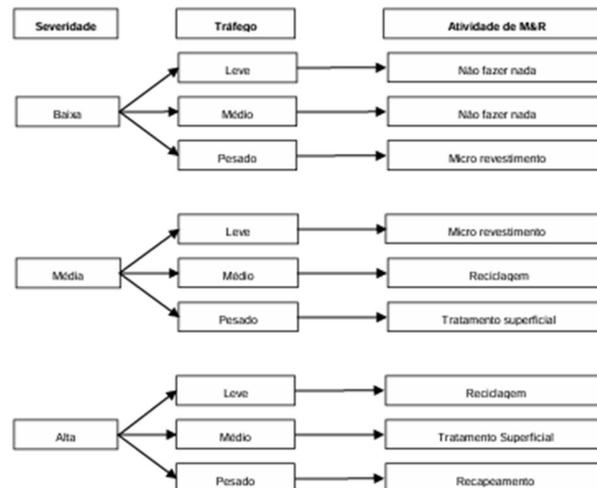


Figura 12 – Intemperismo e desfiamento

