



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUCAS GABRIEL SOARES PADRE SANTOS

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA
DE GERÊNCIA DE PAVIMENTO PARA VIAS URBANAS**

São Luís
2017

LUCAS GABRIEL SOARES PADRE SANTOS

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA
DE GERÊNCIA DE PAVIMENTO PARA VIAS URBANAS**

Monografia apresentado ao DEGET – Departamento de Expressões Gráficas e Transportes da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Teresinha de Medeiros Coelho

São Luís
2017

LUCAS GABRIEL SOARES PADRE SANTOS

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA
DE GERÊNCIA DE PAVIMENTO PARA VIAS URBANAS**

Monografia apresentado ao DEGET –
Departamento de Expressões Gráficas e
Transportes da Universidade Estadual do
Maranhão – UEMA, como requisito para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em 03/07/2017

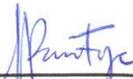
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Maria Teresinha de Medeiros Coelho (Orientadora)
Doutora em Urbanismo
Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Dr. Walter Canales Sant'Ana
Doutor em Engenharia de Transporte
Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Ms. Sérgio Roberto Guimarães Pantoja
Mestre em Planejamento e Gestão Estratégica de Manufatura
Universidade Estadual do Maranhão

À minha mãe, a melhor mãe do universo e amor da minha vida.

AGRADECIMENTO

Gostaria de agradecer primeiramente à minha mãe, responsável por mais essa conquista, que desde sempre me apoiou, me deu amor e foi minha base para nunca desistir dos meus sonhos. Amo a senhora!

À minha avó, Vanessa e meu tio Daniel e sua respectiva família, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e torcendo por mim.

Ao meu tio Júnior, por ter sido a imagem paterna da minha vida, sempre me apoiando e nunca deixando eu me sentir mal com nada. Obrigado Tio, te amo.

À minha madrinha, que foi inspiração para escolher essa carreira e curso, e que sempre me ajudou e transmitiu bons conselhos para a vida acadêmica e para a vida.

À minha tia Francisca, que apesar da distância, fez sim parte do meu crescimento como pessoa e tem méritos nessa conquista.

À minha namorada Thais, que me ajudou e me apoiou desde o início, e que mesmo com a distância, recebia todas as forças para eu seguir em frente com esse trabalho.

À minha amiga e irmã Lana, que sempre esteve do meu lado torcendo pelas minhas conquistas e vitórias.

Ao meu amigo e irmão Felipe, que sem a sua ajuda, esse trabalho não seria a mesma coisa, literalmente. Obrigado mesmo.

À minha orientadora Professora Teresinha, uma ótima professora, que acreditou no meu trabalho e isso foi muito importante. Obrigado.

Aos meus amigos Roberto Lázaro, André Aquino, Gabriel Borges, que de alguma forma, tiraram umas horas dos seus dias para mim ajudar a finalizar o trabalho.

À Ana Castro, que mesmo se recuperando de problemas de saúde, me ajudou como pôde a finalizar esse trabalho.

E a todos que de alguma forma, me apoiaram, acreditaram e torceram por mim durante essa caminhada.

“Eu acredito, eu luto até o fim: não há como perder, não há como não vencer”.

Oleg Taktarov

RESUMO

Atualmente, um dos grandes problemas do Brasil em relação a pavimentação é a falta de manutenção ou uma manutenção precária, não atendendo de forma satisfatória as reais necessidades da estrutura. Como o modal rodoviário possui grande importância para a matriz de transporte do país, e que os prejuízos causados pelas condições inadequadas do pavimento afetam diretamente a economia, se faz necessário a execução de uma gerência da malha viária e o uso de modelos e sistemas de gerenciamento de pavimento com abordagem técnica nos órgãos responsáveis pela rede viária. Este trabalho dá uma visão geral sobre a estrutura do pavimento e os possíveis defeitos que podem ocorrer no pavimento e suas causas. Logo em seguida, é abordado o tema de Sistema de Gerenciamento de Pavimento, desde sua criação, os seus componentes, os modelos e métodos de análise de previsão de desempenho, assim como outros softwares atualmente utilizados. Como ponto principal do trabalho, o aperfeiçoamento de uma ferramenta para auxiliar empresas e órgãos públicos na tomada de decisões em relação a manutenção e reabilitação da rede viária para cidades de pequeno à médio porte. O software foi desenvolvido em VBA dentro do Excel e funcionará como um Sistema de Gerência de Pavimentos, simples, mas eficaz dentro de sua proposta. Ele foi aplicado como estudo de caso em um trecho de uma via dentro do Campus da UEMA em São Luís, Maranhão, apresentando resultados satisfatórios e abrindo possibilidades de implementação de novos recursos, métodos de análises e níveis de decisão mais avançados.

Palavras-chave: Pavimentação. Gerência de Pavimentos. Software de gerência. Manutenção e reabilitação.

ABSTRACT

Currently, one of the biggest problems of Brazil in relation to the paving is the lack of maintenance or a precarious maintenance, not satisfying the real needs of the structure. As the road modal has great importance for the transportation matrix of the country, and that the damages caused by the inadequate pavement conditions directly affect the economy, it is necessary to execute a management of the road network and the use of models and pavement management system with a technical approach in the agencies responsible for the road network. This work gives an overview on the structure of the pavement and the possible defects that can occur in the pavement and its causes. Next, the topic of Pavement Management System, since its inception, its components, models and methods of performance prediction analysis, as well as other software currently used, is discussed. As the main point of the work, the improvement of a tool to assist companies and public agencies in making decisions regarding maintenance and rehabilitation of the road network for small to medium-sized cities. The software was developed in VBA within Excel and will function as a Pavement Management System, simple but effective within its proposal. It was applied as a case study on a road within the UEMA Campus in São Luís, Maranhão, presenting satisfactory results and opening possibilities for the implementation of new resources, analysis methods and more advanced decision levels.

Keywords: Pavement. Pavement Management. Management System. Maintenance and Rehabilitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Ilustração do Sistema de camadas de um pavimento e tensões solicitantes	21
Figura 2 -	Seção transversal típica do pavimento flexível. (1) Revestimento Asfáltico, (2) Base granular, (3) Sub-base, (4) Reforço do subleito, (5) Regularização do subleito.....	22
Figura 3 -	Distribuição do carregamento em pavimentos flexíveis	22
Figura 4 -	Seção transversal de uma estrutura de pavimento rígido	23
Figura 5 -	Distribuição do carregamento em pavimento rígido	23
Figura 6 -	Distribuição das tensões do carregamento em pavimento flexível e pavimento rígido.....	24
Figura 7 -	Seção transversal tipo do pavimento semirrígido direto, à esquerda, e indireto, à direita.....	25
Figura 8 -	Seção transversal típica dos pavimentos	26
Figura 9 -	Classificação dos revestimentos	27
Figura 10 -	Classificação das Bases	28
Figura 11 -	Trinca Longitudinal.....	34
Figura 12 -	Trinca de Retração ou Reflexão.....	35
Figura 13 -	Trinca por Fadiga ou "Couro de Jacaré"	37
Figura 14 -	Trinca em Blocos.....	38
Figura 15 -	Panela.....	41
Figura 16 -	Exsudação	43
Figura 17 -	Agregados Polidos	44
Figura 18 -	Relação das estratégias de manutenção e reabilitação com as outras etapas de um sistema de gerência de pavimentos	50
Figura 19 -	Funcionamento básico de um SGP.....	50
Figura 20 -	Fluxograma dos componentes de um sistema de gerência de pavimentos em nível de rede e projeto	53
Figura 21 -	Atividades do SGP que interagem com o Banco de Dados	55
Figura 22 -	Deformações no pavimento, também conhecida como deflexões ...	61

Figura 23 -	Variação de serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via	65
Figura 24 -	Período recomendável para manutenção dos pavimentos.....	66
Figura 25 -	Estratégias de intervenção com base em intervalos do ICP	70
Figura 26 -	Planilha recomendada para avaliação de pavimento	71
Figura 27 -	Interação entre SGP e o HDM-4.....	85
Figura 28 -	Relação entre desempenho dos pavimentos, estratégia de M&R, data de intervenção e custos.....	86
Figura 29 -	Critérios para classificação dos fatores nas árvores de decisão	89
Figura 30 -	Árvore de decisões para trincas por fadiga	89
Figura 31 -	Árvore de decisões para trincas em blocos.....	90
Figura 32 -	Árvore de decisões para trincas laterais.....	90
Figura 33 -	Árvore de decisões para trincas longitudinais	90
Figura 34 -	Árvore de decisões para trincas por reflexão	91
Figura 35 -	Árvore de decisões para trincas transversais.....	91
Figura 36 -	Árvore de decisões para remendos.....	91
Figura 37 -	Árvore de decisões para painéis	92
Figura 38 -	Árvore de decisões para deformações permanentes na trilha de roda	92
Figura 39 -	Árvore de decisões para corrugação.....	92
Figura 40 -	Árvore de decisões para exsudação	93
Figura 41 -	Árvore de decisões para agregados polidos	93
Figura 42 -	Árvore de decisões para desgaste	93
Figura 43 -	Estratégia de manutenção e reabilitação mais indicada com base no valor do ICP.....	94
Figura 44 -	Interface do software de gerência de pavimentos aplicado a vias urbanas de cidades de pequeno a médio porte	99
Figura 45 -	Localização e área delimitada do campus da UEMA em São Luís.....	101
Figura 46 -	Trecho onde foi realizado os levantamentos	103
Figura 47 -	Alunos realizando levantamento de defeitos	103
Figura 48 -	Localização das seções de teste.....	104
Figura 49 -	Localização das seções de teste.....	104

Figura 50 -	Tela de cadastramento de via	105
Figura 51 -	Exemplo de tabela de levantamento de defeitos preenchida	106
Figura 52 -	Relatório final gerado pelo programa	106
Figura 53 -	Exemplo de tabela de cálculo entre área do defeito e preço de sua respectiva intervenção.....	107
Figura 54 -	Tabela com custos para cada intervenção baseada no relatório final.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Condições do pavimento em função do IRI.....	64
Tabela 2 -	Níveis de serventia.....	65
Tabela 3 -	Índice de Condição do Pavimento.....	70
Tabela 4 -	Valor do Fator de Ponderação	72
Tabela 5 -	Condição do pavimento em função do IGG	73
Tabela 6 -	TF em função do VDM	75
Tabela 7 -	FC em função do tipo de via	76
Tabela 8 -	Índice de manutenção em função da estratégia.....	76
Tabela 9 -	Codificação das estratégias	77
Tabela 10 -	Estratégias recomendadas segundo o ICP	77
Tabela 11 -	Índice de estado da superfície (IES)	79
Tabela 12 -	Índice de Custo Operacional (IC)	79
Tabela 13 -	Estratégias com base nos valores d e ICP.....	95
Tabela 14 -	Estratégia e intervenções.....	95

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo do ICP	69
Equação 2 - Cálculo do IGG.....	71
Equação 3 - Cálculo do IGI.....	72
Equação 4 - Cálculo da frequência relativa	72
Equação 5 - Relação entre IP e ICP.....	74
Equação 6 - Relação entre IP, ICP e VMD.....	74
Equação 7 - Índice de prioridade calculado pelo modelo empírico de Tavakoli ...	75
Equação 8 - Fator de manutenção calculado pelo modelo empírico de Tavakoli.....	76
Equação 9 - Índice de prioridade calculado pelo modelo de priorização do DNER.....	79

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	17
1.1.1	<i>Geral</i>	17
1.1.2	<i>Específicos</i>	17
1.2	Justificativa	18
1.3	Estrutura do Trabalho	18
2	DEFINIÇÕES	20
2.1	Pavimentos	20
2.1.1	<i>Tipos de Pavimentos</i>	21
2.1.1.1	Pavimento flexível	21
2.1.1.2	Pavimentos rígidos	22
2.1.1.3	Pavimentos semirrígidos	24
2.1.2	<i>Estrutura dos Pavimentos</i>	25
2.1.2.1	Revestimento ou capa de rolamento	26
2.1.2.2	Base	28
2.1.2.3	Sub-base	28
2.1.2.4	Reforço do subleito	29
2.1.2.5	Regularização do subleito	29
2.1.2.6	Subleito	29
3	IRREGULARIDADES NO PAVIMENTO	31
3.1	Patologias do Pavimento	31
3.1.1	<i>Fendas</i>	31
3.1.1.1	Fissura	32
3.1.1.2	Trincas	32
3.1.1.2.1	<i>Trincas isoladas</i>	32
3.1.1.2.2	<i>Trincas interligadas</i>	35
3.1.1.2.3	<i>Trincas nos bordos</i>	38
3.1.1.3	Remendos	39
3.1.1.4	Panelas	40
3.1.1.5	Deformação permanente ou afundamento	41

3.3.1.6	Corrugação ou ondulação	42
3.3.1.7	Exsudação	43
3.3.1.8	Agregados polidos.....	44
3.3.1.9	Desgaste	45
3.3.1.10	Desnível entre pista e acostamento	46
3.3.1.11	Bombeamento	46
4	SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	47
4.1	Introdução.....	47
4.2	Definição	48
4.3	Níveis de Rede e Projeto	51
4.4	Sistema de Gestão de Pavimentos aplicado a Vias Urbanas	53
4.5	Banco de Dados	54
4.5.1	<i>Informações da rede viária.....</i>	56
4.5.2	<i>Custos das Atividades de Manutenção e Reabilitação.....</i>	59
4.6	Desempenho dos Pavimentos	59
4.6.1	<i>Avaliação da Capacidade Estrutural</i>	59
4.6.2	<i>Avaliação Funcional</i>	61
4.6.2.1	Avaliação de defeitos da superfície – levantamento visual contínuo ...	62
4.6.2.2	Avaliação objetiva da superfície	62
4.6.2.3	Irregularidade longitudinal	63
4.6.2.4	Cadastro contínuo de reparos superficiais e profundos	64
4.6.3	<i>Avaliação Subjetiva–Valor de Serventia Atual</i>	64
4.7	Métodos de Levantamento	66
4.8	Índices Combinados de Defeitos	69
4.8.1	<i>Método ICP - Índice de Condição do Pavimento</i>	69
4.8.2	<i>Índice de Gravidade Global – IGG.....</i>	71
4.9	Métodos de Priorização de Intervenções de Manutenção	73
4.9.1	<i>Modelo Empírico Segundo Tavakoli.....</i>	75
4.9.2	<i>Modelo de Priorização baseado no HDM-III.....</i>	78
4.9.3	<i>Modelo de priorização do DNER.....</i>	78
4.9.4	<i>Escolha do Método de Priorização a ser utilizado para o Software e Estudo de Caso</i>	80
4.10	Softwares Existentes sobre SGP	81

4.10.1	<i>SGP Desenvolvido na Finlândia</i>	81
4.10.2	<i>Sistema PMS – III: SGP Desenvolvido em Ohio</i>	82
4.10.3	<i>Sistema NOS: SGP Desenvolvido no Arizona</i>	83
4.10.4	<i>Sistema HDM: Versão HDM-4</i>	84
5	MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS	86
5.1	Árvores de Decisão	87
6	DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE	96
6.1	Características	96
6.2	Linguagem	97
6.3	Mapeamento da Árvore de Processo e Desenvolvimento do Algoritmo	97
6.4	Obtenção de Fonte dos Preços	98
6.5	Criação do Banco de Dados	98
6.6	Desenvolvimento da Interface Gráfica	99
7	METODOLOGIA	100
7.1	Estudo de Caso	100
7.2	Localização e Características	101
7.3	Levantamento de Dados	102
7.4	Aplicação do Programa	102
8	CONSIDERAÇÕES FINAS E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	109
	REFERÊNCIAS	110
	APÊNDICES	113
	ANEXOS	119

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o principal meio de locomoção do Brasil é o transporte rodoviário. De acordo com a Confederação Nacional de Transporte, a nação possui uma malha rodoviária de 1.720.643 Km, mas apenas 12,24% estão pavimentadas (CNT, 2015). Diariamente milhares de pessoas e mercadorias trafegam por essas rodovias, o que lhes garante grande importância para o cenário econômico do País. Mesmo sendo fundamental para o País, as rodovias ainda são, em grande maioria, precárias e deficientes, necessitando fazer grandes investimentos financeiros para melhorar e manter uma boa qualidade das mesmas.

Ramos et al. (2006) explica que a necessidade de desenvolver um método de racionalização e planejamento de recursos para a manutenção de rodovias veio da discrepância entre os modos de projetos e construção com os modos de conservação e manutenção. Os grandes responsáveis pela manutenção das rodovias são as agências rodoviárias, que se encontraram em uma situação complicada, onde os fundos para manutenção e reabilitação estavam se tornando escasso e o número de rodovias só aumentando. Portanto, os engenheiros de pavimento e projetistas desenvolveram o conceito de SGP – Sistema de Gerência de Pavimentos para melhor utilização custo/benefício dos recursos limitados.

Segundo Souza (2015), os primeiros sistemas de gerências foram desenvolvidos na América do Norte (EUA e Canadá) na década de 70. Em 1985, o primeiro guia sobre gerência de pavimentos foi publicado pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) e logo depois a *Federal Highway Administration* (FHWA) tornou como requisito, para captação de investimentos, a implantação do SGP nas rodovias federais norte-americanas. O mais recente guia sobre gerência de pavimentos publicado pela AASHTO é de 2001, o *Pavement Management Guide*.

No Brasil, o interesse pelo desenvolvimento e aplicação de um SGP aumentou a partir de 1983 por diversos fatores, sendo um dos principais a limitação de recursos e orçamentos relativamente restritos frente ao crescimento de rodovias deterioradas. Nesse ano, o DNER contava com 26% das suas rodovias em estado precário e indicava uma grande necessidade de adotar programas para reduzir esse índice. Portanto, o DNER em conjunto com o Instituto de Pesquisas Rodoviárias

criou a Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos - CPGP (VISCANTI, 2000).

Em 2000, o Brasil começou a utilizar o *Highway Development and Management* (HDM-4) desenvolvido pelo Banco Mundial para análise técnica e econômica de rodovias. Muitos estados brasileiros estão em processo de implantação de seus próprios SGPs, com o banco de dados em estruturação (VISCANTI, 2000).

Nas vias urbanas as condições dos pavimentos asfálticos não são diferentes das rodovias. Prova disso, notam-se as manutenções e conservações precárias das vias de São Luís.

Neste trabalho se propõe o aprimoramento e aplicação de um programa para vias urbanas, podendo ser utilizado em rodovias, após adaptações.

Para testar o programa proposto, aplicou-se em uma via interna do campus da UEMA em São Luís.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

O objetivo do trabalho é aplicar uma ferramenta que visa auxiliar na tomada de decisões em relação às atividades de manutenção e reabilitação do pavimento.

1.1.2 Específicos

- a) Aperfeiçoar um software de gerenciamento de pavimento em nível de rede;
- b) Aplicar o programa em uma via dentro do campus da UEMA.
- c) Analisar a priorização de intervenções para os trechos estudados.

1.2 Justificativa

O transporte rodoviário é o principal sistema logístico do Brasil, com uma rede de 1.580.964 quilômetros de estradas, a quarta maior do mundo, mas apenas 212.798 quilômetros estão pavimentadas (CIA 2017).

De acordo com a CNT (2015), 61,1% da movimentação de transporte de cargas do país é dado por modal rodoviário, deixando-o responsável por transferir mais de 485 milhões de reais em cargas, e tomando ainda como base a pesquisa CNT (2015) de rodovias 2015, dos 100.763 km percorridos para a realização do estudo, 57.659 km foram classificados, segundo seu Estado Geral, como regular, ruim ou péssimo, dessa forma o transporte de cargas não poderá ser realizado de forma eficaz se as condições dos pavimentos se manterem em estado precário, podendo causar acidentes, diminuir o fluxo de tráfego das vias e prejudicar a eficiência do sistema viário.

Portanto, a gestão de orçamentos dos recursos disponíveis é muito importante, pois o não cumprimento de manutenções preventivas pode trazer, anos mais tarde, um acréscimo de 10% a 15% no custo total de transporte para a realização de manutenções corretivas. Assim, utilizar um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos pode solucionar o problema e a ferramenta proposta, que inicialmente terá um foco para cidades com malha viária de pequeno a médio porte, poderá suprir essa demanda, mesmo que de modo provisório.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho foi dividido em capítulos de modo a mostrar ao leitor toda uma visão geral do que compreende um sistema de gerenciamento de pavimentos de forma simples e clara.

Já no primeiro capítulo, é introduzido ao leitor o atual cenário da malha viária brasileira e o porquê de se trabalhar com um sistema de gerenciamento de pavimentos. No segundo capítulo foi abordada a estrutura do pavimento, onde é explicado como é a estrutura do pavimento, os tipos de pavimento e seu comportamento quanto à carga aplicada sobre ela. No terceiro capítulo, é descrito todos os defeitos que ocorrem no pavimento. No quarto capítulo, é explicado o funcionamento de um sistema de gerência de pavimentos assim como seus

componentes, suas funções e objetivos, a forma ideal de operar um sistema e sua importância na manutenção de uma boa qualidade de rolamento dos pavimentos. Serão explicitados os vários métodos e modelos utilizados em um SGP, os métodos de avaliação de pavimentos, coleta de dados, modelos de priorização, modelos de simulação de desempenho e outros. No capítulo quinto é descrito como é feita a manutenção e reabilitação para cada defeito já descrito no terceiro capítulo, assim como métodos de decisão de intervenção para cada ocorrência e como são escolhidas. O sexto capítulo contará com todo o desenvolvimento do software, desde sua concepção, que foi desenvolvido por Fernandes (2017), e que neste trabalho sofrerá adaptações por conta de parâmetros regionais e passará a contar com a possibilidade de apresentar os custos totais das intervenções sugeridas. Neste capítulo será citado ainda qual linguagem de programação foi escolhida, as premissas, os modelos e métodos utilizados como base do programa e sua interface gráfica. No sétimo capítulo é apresentado a metodologia e o estudo de caso, com a aplicação do programa em trecho de uma via do campus da Universidade Estadual do Maranhão e; no último capítulo tem-se a conclusão, críticas e sugestões para futuras melhorias ao programa.

2 DEFINIÇÕES

2.1 Pavimentos

O pavimento, segundo Bernucci et al. (2007), é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplanagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

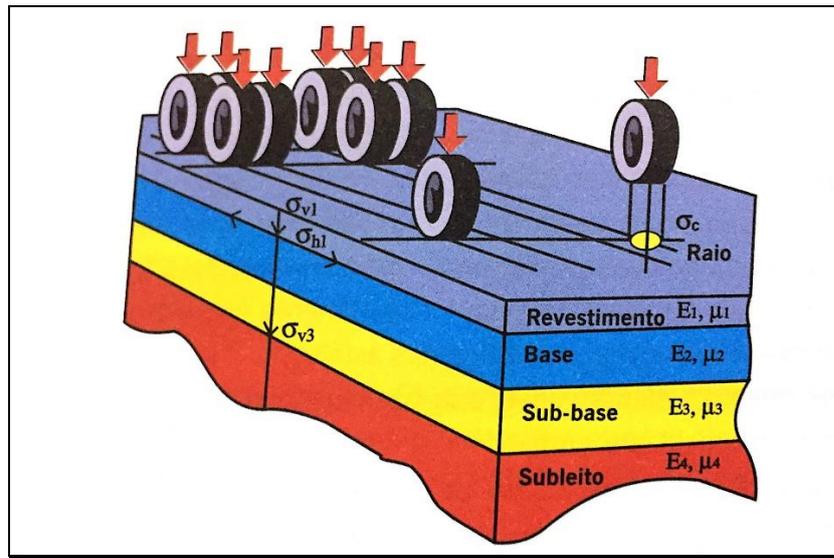
Já para Balbo (2016), o pavimento é uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal, adequada para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível.

Desta maneira, como a estrutura do pavimento é projetada em um sentido puramente estrutural onde o mesmo recebe e transmite esforços para aliviar as pressões sobre as camadas inferiores, Senço (1997) complementa: pavimento é a estrutura construída sobre a terraplanagem e destinada, técnica e economicamente, a:

- a)** Resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los;
- b)** Melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança;
- c)** Resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento.

Os esforços causados pelos veículos passarão por todas as camadas existentes e serão transferidos ao subleito conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 - Ilustração do Sistema de camadas de um pavimento e tensões solicitantes



Fonte: Bernucci et al. (2007)

Como mostra na Figura 1, quando o pneu descarrega uma carga Q que se desloca com uma velocidade V , a estrutura do pavimento recebe uma tensão vertical σ_{v1} (de compressão) e uma tensão horizontal σ_{hl} (de cisalhamento).

Estes esforços serão distribuídos a cada camada que atravessarem ao ponto que a tensão superficial chegue ao subleito com um valor inferior ao inicial, possibilitando suportar de forma segura os esforços aplicados ao pavimento.

2.1.1 Tipos de Pavimentos

De acordo com bibliografias consultadas, o pavimento pode ser flexível, rígido ou semirígidos, descritos a seguir.

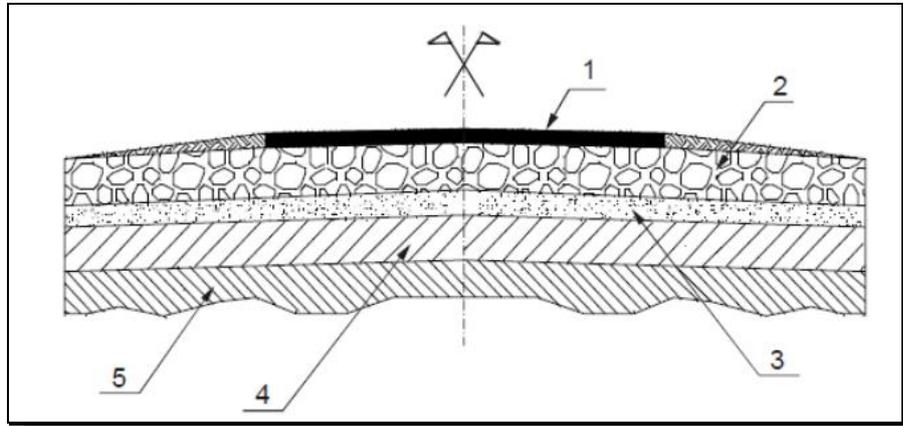
2.1.1.1 Pavimento flexível

Aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes (DNIT, 2006a, p. 95).

Fundamentalmente, pavimento flexível é uma camada asfáltica sobre uma base e sub-base granular. A Figura 2 ilustra uma seção transversal típica da estrutura, apresentando a camada de revestimento asfáltico, base granular, sub-

base e reforço do subleito, além da regularização do subleito que não é considerada uma camada por não possuir uma espessura calculada e uniforme.

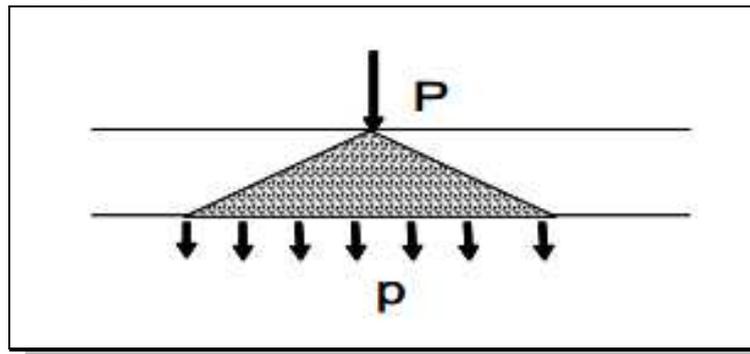
Figura 2 - Seção transversal típica do pavimento flexível. (1) Revestimento Asfáltico, (2) Base granular, (3) Sub-base, (4) Reforço do subleito, (5) Regularização do subleito



Fonte: DNIT (2006a)

Segundo Souza (2015), a camada mais importante estruturalmente entre as outras camadas é a base, que recebe as tensões do tráfego (P) e distribui os esforços (p) para a sub-base e reforço do subleito. Abaixo segue a Figura 3 que ilustra essa distribuição.

Figura 3 - Distribuição do carregamento em pavimentos flexíveis



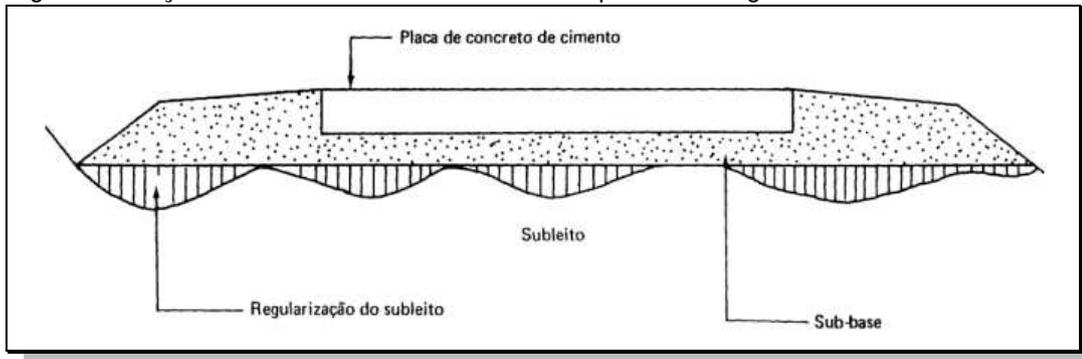
Fonte: Souza (2015)

2.1.1.2 Pavimentos rígidos

É aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado (DNIT, 2006a, p.95). Isto é, um pavimento onde se utiliza

placas de concreto de cimento Portland que são ligadas entre si e substituem o revestimento asfáltico e a base, por possuir alta resistência e elevada rigidez. A figura 4 mostra um corte transversal de uma estrutura de pavimento rígido, onde pode se notar o contato direto da placa de concreto de cimento com a sub-base.

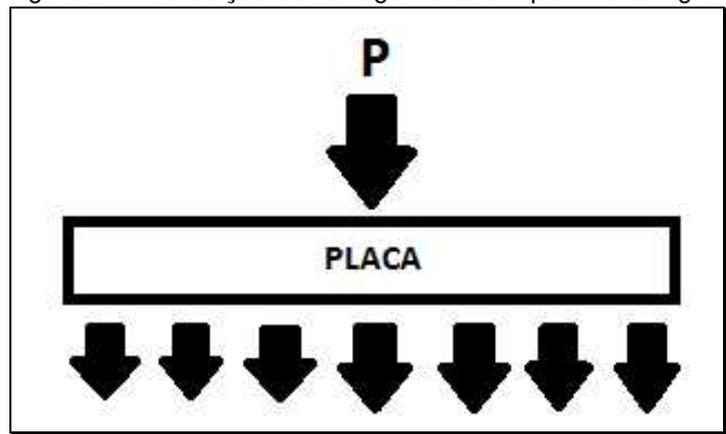
Figura 4 - Seção transversal de uma estrutura de pavimento rígido



Fonte: Adaptado de Souza (2015)

A vantagem principal de se utilizar o pavimento rígido é que a placa de concreto de cimento distribui as tensões do carregamento de forma uniforme. A Figura 5 demonstra a distribuição do carregamento na placa de concreto de cimento Portland.

Figura 5 - Distribuição do carregamento em pavimento rígido



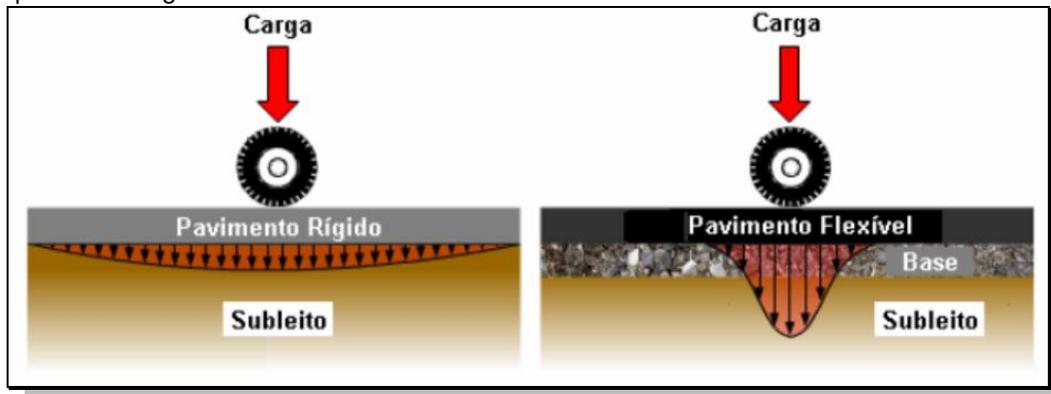
Fonte: Autor (2017)

Outras vantagens que podem ser citadas, é que teoricamente, o pavimento sendo construído de forma correta adquire uma vida útil mais longa, aumentando o intervalo de tempo entre as manutenções preventivas. Possui

também alta resistência a produtos como óleo diesel e querosene e aos seus efeitos de solventes, o que diminui a degradação do material do pavimento (SOUZA, 2015).

Assim sendo, a grande diferença entre o pavimento rígido e o pavimento flexível é que o pavimento rígido consegue suportar o carregamento sozinho, fazendo o trabalho do revestimento e base, enquanto no flexível o revestimento asfáltico impermeabiliza e distribui as cargas para base, sendo a base a responsável por suportar o carregamento efetivamente. A Figura 6 ilustra a diferença entre as distribuições de carregamentos entre o pavimento rígido e o pavimento flexível.

Figura 6 - Distribuição das tensões do carregamento em pavimento flexível e pavimento rígido



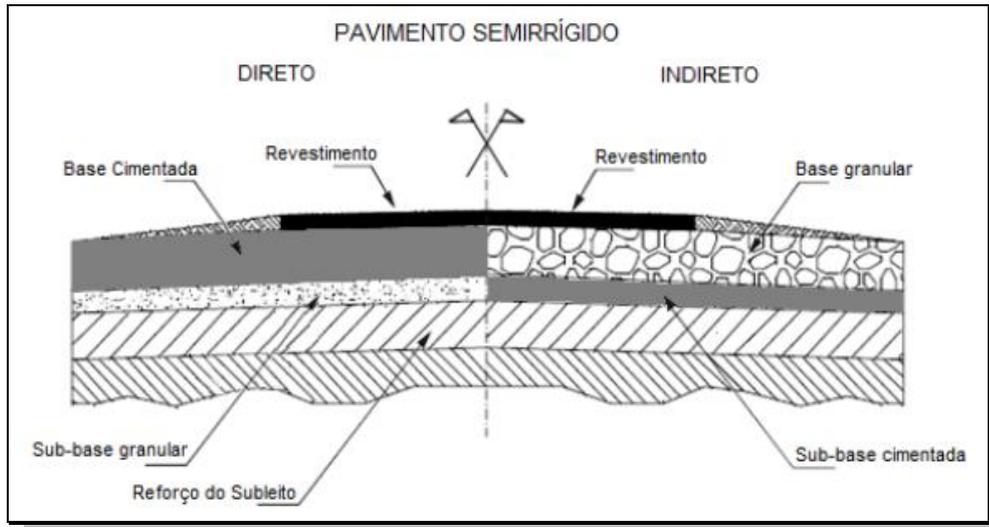
Fonte: Souza (2015)

2.1.1.3 Pavimentos semirrígidos

Caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como, por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica (DNIT, 2006a, p. 95). O pavimento semirrígido possui dois tipos: direto e indireto (ou invertido). O pavimento semirrígido é do tipo direto quando a camada de revestimento asfáltico é aplicada sobre uma base cimentada e do tipo indireto ou inverso quando o revestimento asfáltico é aplicado sobre uma base granular e uma sub-base cimentada (DER/SP, 2006a).

Podemos concluir que o pavimento semirrígido é uma combinação de características do pavimento flexível e rígido. O pavimento semirrígido possui um corte transversal similar ao pavimento flexível, como esclarece a Figura 7.

Figura 7 - Seção transversal tipo do pavimento semirrígido direto, à esquerda, e indireto, à direita



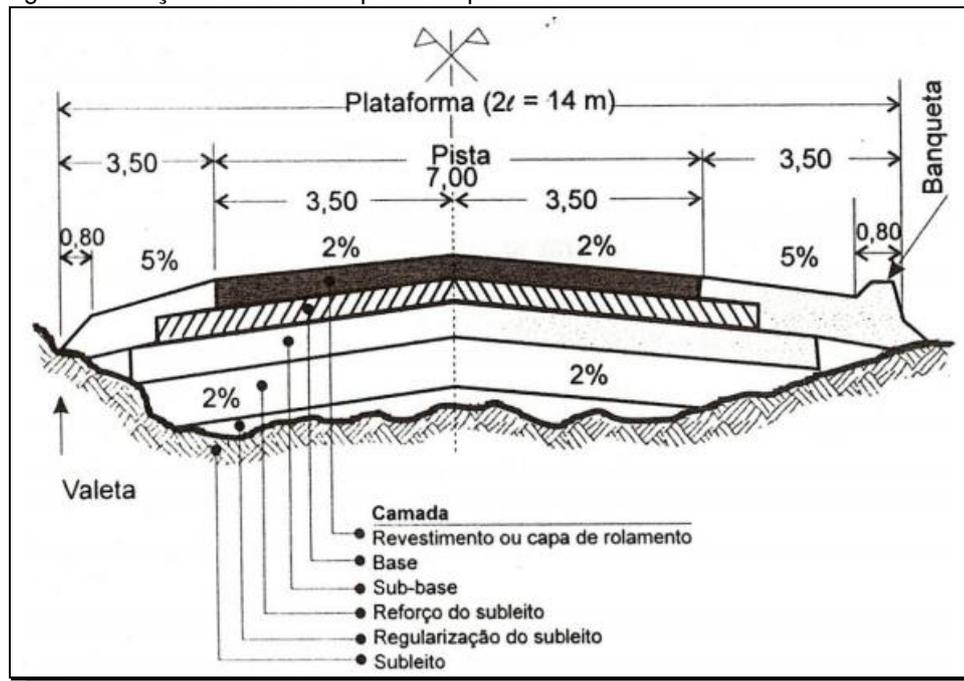
Fonte: Souza (2015)

2.1.2 Estrutura dos Pavimentos

Segundo Souza (2015), a estrutura de um pavimento tem o objetivo de suportar as cargas que atuam sobre ele e repassar de forma uniforme e sutil este carregamento ao terreno de fundação da estrutura sem danificar a fundação e a própria estrutura do pavimento.

No item 2.1.1.1 foi mostrado a seção transversal de um pavimento flexível, seção esta que possui o maior número de camadas possíveis, apesar disso, na Figura 8 está ilustrado não apenas as camadas da estrutura de um pavimento como dispositivos de drenagem e dimensões que devem ser calculadas e levadas em consideração durante o projeto.

Figura 8 - Seção transversal típica dos pavimentos



Fonte: Adaptada de Senço (1997)

Cada camada deve ser estudada e conhecer suas características, entendendo que cada uma possui uma espessura fixa calculada com base no projeto elaborado.

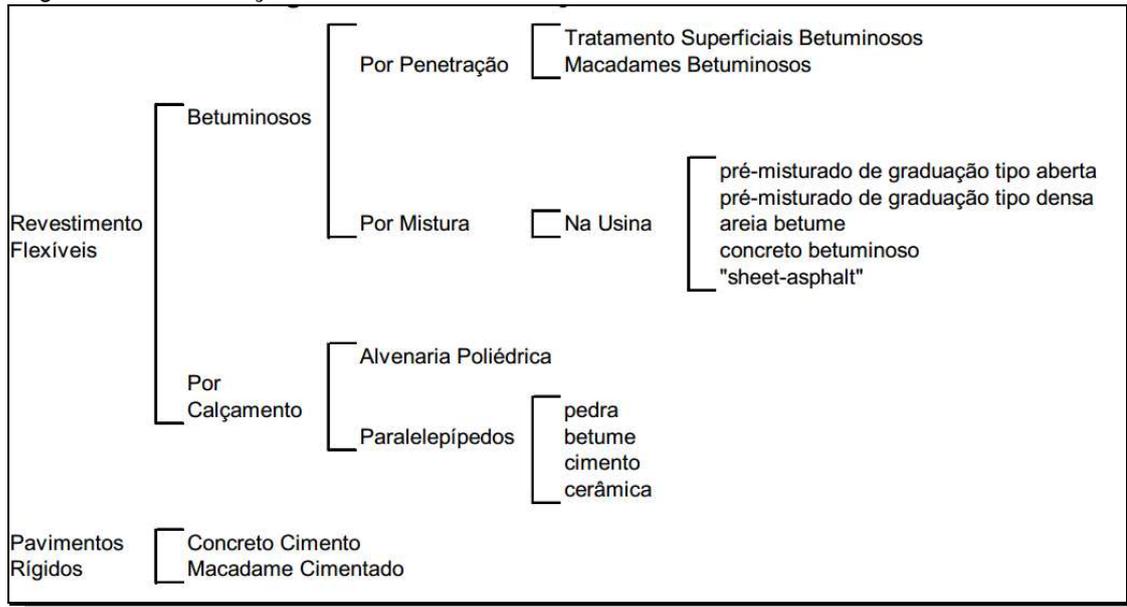
2.1.2.1 Revestimento ou capa de rolamento

Na estrutura do pavimento, o revestimento ou camada de rolamento é a camada mais externa da estrutura e a que possui contato direto com o tráfego. Portanto, deve ser o tanto quanto possível impermeável e resistente aos esforços do contato entre pneu-pavimento.

O revestimento deverá, entre outras funções, receber as cargas, estáticas ou dinâmicas, sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de componentes ou, ainda, perda de compactação (BALBO, 2016, p. 36).

Por conta destas propriedades, o revestimento possui grande importância e por isso o cálculo de sua espessura e composição devem ser feitas com atenção, já que é a camada com maior custo da estrutura. A Figura 9 apresenta a classificação dos revestimentos de acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006a).

Figura 9 - Classificação dos revestimentos



Fonte: DNIT (2006a)

Para a definição do tipo de revestimento a ser utilizado deve se basear nos cálculos do tráfego previsto, nos materiais disponíveis e a acessibilidade destes ao local da obra.

a) Revestimento Flexível

Como observado na Figura 9, o revestimento flexível possui várias maneiras de aplicação e as mais complexas, mas mesmo assim é o revestimento mais utilizado entre projetistas e construtores. Principalmente o revestimento de concreto asfáltico, por ser o que resulta em melhor qualidade entre os revestimentos flexíveis. Por tal motivo é o mais aplicado em vias expressas e autoestradas (SENÇO, 1997).

b) Revestimento Rígido

Sua principal característica é a utilização do cimento, o que lhe torna resistente aos esforços horizontais e repassando os esforços verticais de forma uniforme à sub-base, como já foi explicado no item 2.1.1.2.

Outrora, o revestimento rígido era utilizado exclusivamente em vias importantes, contudo hoje em dia ele está sendo muito aplicado em corredores de ônibus e trechos de vias urbanas com grande tráfego de ônibus e caminhões.

2.1.2.2 Base

A base tem o objetivo de suportar e atenuar as cargas verticais que foram repassadas pelo revestimento antes de distribuir para as camadas seguintes. Dessa forma, possui grande importância estrutural ao pavimento.

As bases podem ser constituídas por solo estabilizado naturalmente, mistura de solos e agregados (solo-brita), brita graduada, brita graduada tratada com cimento, solo estabilizado quimicamente com ligante hidráulico ou asfáltico, concretos etc (BALBO, 2016, p.38).

Figura 10 - Classificação das Bases

Bases	Rígidas	Concreto de cimento	
		Macadame de cimento	
		Solo-cimento	
	Flexíveis	Solo estabilizado	Granulometricamente
			Solo-betume
		Solo-brita	
		Macadame hidráulico	
		Macadame betuminoso	
	Por aproveitamento	Brita Graduada com ou sem cimento	
		Paralelepípedos	
Alvenaria Poliédrica			

Fonte: Adaptada de Senço (1997)

2.1.2.3 Sub-base

É uma camada complementar à base, sempre que, por motivos técnicos e econômicos, não for recomendável construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito. Quando utilizado, o material constituinte da sub-base deve ter qualidade inferior ao material constituinte da base e superior ao do reforço do subleito (SENÇO, 1997).

Portanto, quando a base, que é responsável em distribuir os esforços para as camadas inferiores, for calculada com uma espessura muito grande, por

razões econômicas e construtivas, é feita a divisão em duas camadas, criando-se assim a sub-base com material de menor custo.

2.1.2.4 Reforço do subleito

O reforço é uma camada que tem como objetivo resistir, distribuir e atenuar as cargas verticais aplicadas sobre um subleito frágil. É também considerado uma camada complementar à sub-base (SENÇO, 1997).

O material constituinte do reforço deve ser de melhor qualidade que o material do subleito, para que esta camada tenha êxito no seu propósito de aliviar as pressões aplicadas sobre um subleito medíocre. A utilização do reforço é opcional, pois aplicar camadas de sub-base e base mais espessas resistiriam às solicitações advindas das pressões aplicadas no pavimento. Entretanto, no âmbito econômico, reforçar o subleito é uma opção mais viável e de menor custo do que aumentar as espessuras das demais camadas (BALBO, 2016).

Portanto, esta camada é aplicada quando o subleito possui baixa resistência aos esforços verticais, sendo capaz de ser aplicada para a redução da espessura da camada de sub-base.

2.1.2.5 Regularização do subleito

A regularização do subleito, também conhecida como preparo do subleito, é a camada de espessura irregular aplicada sobre o subleito para garantir as características geométricas transversais e longitudinais do projeto (SENÇO, 1997).

Por não ter espessura regular, não é geralmente considerada uma camada, mas essencial para garantir a geometria de projeto. Deve ser, sempre que possível, executada em aterro.

2.1.2.6 Subleito

O subleito é constituído de material natural já consolidado e compactado do local, como exemplo os cortes do corpo estradal, ou material transportado e compactado, como os aterros. Os esforços aplicados sobre o subleito se dispersam em sua profundidade em bulbo, na maioria das vezes não passando do primeiro

metro, portanto, as camadas superiores requerem maior atenção ao cálculo de suas espessuras (BALBO, 2016).

Em síntese, o subleito é o terreno que atua como fundação para a estrutura do pavimento.

3 IRREGULARIDADES NO PAVIMENTO

3.1 Patologias do Pavimento

Em São Luís, é de fácil observação encontrar pavimentos com irregularidades, sejam elas trincas, marcas de trilhas de rodas, afundamentos, panelas e remendos mal executados, como consequência dos problemas do desenvolvimento do projeto, irregularidades na execução ou por conta da deterioração do próprio pavimento. As patologias decorrentes da deterioração do pavimento podem ser causadas por características climáticas ou pela solicitação de tráfego, já que a estrutura do pavimento possui uma vida útil que deve ser respeitada.

Os defeitos que ocorrem no pavimento serão descritos neste capítulo, seguindo como base a norma do DNIT 005/2003 – TER: *Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos: terminologia* e o Programa Estratégico de Pesquisas Rodoviárias (SHRP, 1993) que são utilizados no cálculo de indicadores de qualidade da superfície do pavimento IGG (Índice de Gravidade Global) e ICP (Índice de Condição do Pavimento), índices estes que são importantes no levantamento da condição estrutural e funcional do pavimento para ser utilizado no sistema de gerência de pavimento. Foi indicado para cada defeito, em qual manual ele pertence, podendo ser apenas DNIT, apenas SHRP ou pertencendo a ambos.

3.1.1 Fendas

São irregularidades na superfície do pavimento que acarrete em aberturas de menor ou maior porte (DNIT, 2003a). Quando a abertura é perceptível a olho nu somente a uma distância inferior a 1,5m são caracterizadas como *fissuras*, quando a abertura é superior à da fissura é chamada de *trinca*. As fendas são subdivididas quanto à tipologia e gravidade (BERNUCCI et al., 2007).

Quanto a gravidade, pode ser caracterizada como FC – 1 (fendas com abertura não superior a 1mm), FC – 2 (fendas com abertura superior a 1mm), e FC – 3 (fendas com abertura superior a 1 mm e desagregação ou erosão junto às bordas) (BERNUCCI et al., 2007).

Quanto à tipologia, são caracterizadas como trincas *isoladas* ou trincas *interligadas*. As trincas *isoladas* são subdivididas em: transversais curtas (TTC) ou transversais longas (TTL), longitudinais curtas (TLC) ou longitudinais longas (TLL), ou ainda de retração (TRR). As trincas *interligadas* podem ser: Trincas de bloco (TB) ou (TBE) quando estas apresentam erosão nas bordas; ou trincas tipo couro de jacaré (J) ou (JE) quando estas apresentam erosão nas bordas (BERNUCCI et al., 2007).

3.1.1.1 Fissura

As fissuras são fendas no estado inicial e que não causam danos e problemas funcionais ao revestimento. Portanto, não sendo levadas em consideração nas atuais avaliações das condições do pavimento (DNIT, 2003a). No entanto, deve ser mantido um controle sobre a evolução das fissuras, que em um futuro próximo pode evoluir para trincas.

3.1.1.2 Trincas

Fenda com abertura maior que fissura e facilmente visível encontrada no revestimento, podendo se manifestar como Trinca Isolada ou Trinca Interligada (DNIT, 2003a).

3.1.1.2.1 Trincas isoladas

a) Trinca Transversal

Tipo de trinca isolada que se apresenta principalmente na direção ortogonal ao eixo da via. É dividida em trinca transversal curta, quando a extensão não supera 100cm, ou trinca transversal longa, quando a extensão da trinca supera os 100cm (DNIT, 2003a).

As trincas transversais podem ser classificadas quanto a sua severidade, sendo de baixa severidade aquelas com abertura média inferior a 6mm; de média severidade as trincas com abertura entre 6 e 19mm ou com trincas ao lado de severidade baixa; e para classificar como alta severidade as trincas que possuem

abertura maior que 19mm ou abaixo de 19mm, mas com outras trincas adjacentes menores com severidade média ou alta (SOUZA, 2015).

A principal causa é a contração térmica do revestimento e, portanto, pela contração hidráulica das camadas inferiores. Outros motivos que levam ao aparecimento das trincas transversais é a má qualidade dos materiais escolhidos para o revestimento e execução irregular do pavimento (SOUZA, 2015).

A atividade de Manutenção e Reabilitação (M&R) que pode ser executado nesse caso é a aplicação de selante nas trincas, para que impeça a infiltração de água para as camadas inferiores, evitando o enfraquecimento da estrutura (SOUZA, 2015).

b) Trinca Longitudinal

Trinca longitudinal que se apresenta predominantemente na direção paralela ao eixo da via. Quando possuir extensão de até 100 cm, considerada então trinca longitudinal curta, se a extensão for maior que 100 cm, ela é então considerada trinca longitudinal longa (DNIT, 2003a).

As trincas longitudinais também são classificadas quanto a sua severidade, assim como o item anterior. Portanto, é considerado de severidade baixa quando possui abertura média inferior a 6mm ou possui camada selante em boas condições; de média severidade quando as trincas possuírem abertura entre 6 e 19 mm ou com trincas adjacentes de baixa severidade; trincas com abertura superior a 19 mm ou com abertura abaixo de 19 mm, mas com trincas adjacentes de severidade média para alta são consideradas trincas longitudinais de alta severidade (SOUZA, 2015).

As causas das trincas longitudinais são várias, podendo elas serem originadas pela má execução da pavimentação, temperatura de compactação errada ou mesmo falha na dosagem da mistura asfáltica. Podem aparecer também no eixo da trilha de roda ou por falha das juntas longitudinais de separação entre as faixas de tráfego durante a compactação. Outras origens das trincas são relacionadas com o envelhecimento do ligante asfáltico.

Para a atividade de M&R, a ação tomada deve ser de acordo com certas características da trinca. Para trinca com abertura menor que 3mm, não há necessidade de preenchimento; para trincas com abertura entre 3 e 20 mm, é sugerido a limpeza e aplicação de selante com lançamento de areia sobre o selante;

e para trincas com abertura maior que 20 mm, é necessário o reparo com remendo. Se for levar em consideração um trecho todo, onde já é esperada uma ação de recapeamento, é indicado que se preencha a trinca com concreto asfáltico de granulometria fina (SOUZA, 2015). A figura 11 a seguir ilustra uma trinca longitudinal.

Figura 11 - Trinca Longitudinal



Fonte: Oda (2016)

c) Trinca de retração ou reflexão

Trinca de retração ou reflexão geralmente se manifestam por consequência de trincas que foram originadas nas camadas inferiores. A causa da trinca não é atribuída à fadiga e sim ao fenômeno de retração térmica ou do material que compõe o revestimento ou do material de base rígida ou semirígida abaixo do revestimento trincado (DNIT, 2003a).

Assim como as outras trincas, ela também é caracterizada quanto a sua severidade. Baixa severidade com aberturas inferiores a 6 mm; média severidade quando possui aberturas entre 6 e 19 mm, ou com trincas adjacentes de baixa severidade; é considerada de alta severidade quando possuir abertura maior que 19 mm ou menor que 19 mm, mas com trincas adjacentes de média ou alta severidade (SOUZA, 2015).

A trinca por retração se resume a movimentos horizontais ou verticais e também da contração e expansão das camadas inferiores e revestimentos. Podemos citar os fatores que geram estes movimentos como a variação térmica ou

variação do teor de umidade das camadas, recalques de terra, solicitação do tráfego e perda de umidade em subleito com alto teor de argila (SOUZA, 2015).

Para manutenção e reabilitação, as atividades de M&R devem ser baseadas na questão de severidade e a gravidade da trinca. As opções podem ser remendos e tratamentos superficiais para reparos temporários; para trincas com menos de 3 mm de abertura, não é necessário preenchimento; para aberturas entre 3 e 20 mm, é sugerido limpeza e aplicação de selante; para trincas com abertura maior que 20 mm, aplicação de reparo com remendo ou preenchimento com concreto asfáltico de granulometria fina anterior a um recapeamento; pode ser utilizado também geomembranas para reforço estrutural ou reciclagem da parte superficial do pavimento antigo para recapeamento (SOUZA, 2015). A figura 12 ilustra trincas de reflexão.

Figura 12 - Trinca de Retração ou Reflexão



Fonte: Oda (2016)

3.3.1.2.2 Trincas interligadas

a) Trinca por Fadiga ou “Couro de Jacaré”

Segundo Souza (2015), a trinca por fadiga é resultado da diminuição da resistência do material do pavimento sobre efeito de solicitações repetidas, portanto, ocorre geralmente em trilhas de roda. A trinca por fadiga tem essa denominação de “couro de jacaré” ou “tela de galinheiro” por conta de sua aparência.

Outras possíveis causas para esse tipo de trinca é o enfraquecimento estrutural durante o período de chuva, quando a água penetra nas trincas ainda recém formadas, tendo acesso ao interior da estrutura e conseqüentemente piorando a situação das trincas. Ademais, as trincas podem ser formadas pela retração da base estabilizada em função das cargas repetidas devido ao tráfego (SOUZA, 2015).

Segundo Bernucci et al. (2007) algumas causas prováveis para este tipo de trinca é também o envelhecimento do material asfáltico, compactação deficiente do revestimento, rigidez excessiva do revestimento em estrutura com elevada deflexão, idade avançada do pavimento ente outros.

Para ser caracterizada como esse tipo de trinca, elas devem estar interligadas e com uma distância menor que 30 cm entre si.

Quanto a sua severidade, ela pode ser classificada como baixa severidade quando há poucas trincas conectadas, sem erosão nas bordas e sem bombeamento; média severidade quando há trincas interligadas e com bordos levemente erodidos, sem evidencia de bombeamento; e alta severidade quando há grande quantidade de trincas conectadas, erosão dos bordos acentuadas, bombeamento de finos e movimentação dos blocos quando submetidos ao tráfego (ODA, 2014 apud SOUZA, 2015, p. 36).

Para evitar que as trincas se agravem, é sugerido realizar atividade de Manutenção e Reabilitação (M&R), de acordo com a severidade e gravidade das trincas, como: capa selante para casos de severidade baixa; selagem das trincas para evitar infiltração; aplicação de remendo; substituição da sub-base, base e revestimento; recapeamento, como reforço estrutural; ou como opção para casos mais graves a reconstrução completa do pavimento (SOUZA, 2015). Um exemplo de trincas por fadiga é ilustrada na figura 13 a seguir.

Figura 13 - Trinca por Fadiga ou "Couro de Jacaré"



Fonte: Autor (2017)

b) Trincas em Blocos

“Conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nos bordos.” (DNIT, 2003a, p. 2). Portanto, são trincas que possuem o formato de blocos aproximadamente retangulares e com área entre 0,1m² e 10m² podendo aparecer em qualquer lugar do pavimento (SOUZA, 2015).

As trincas em blocos geralmente ocorrem por conta da reflexão de trincas das camadas inferiores que sofreram contração, ou por possuírem material cimentício na composição da base ou sub-base ou por contração térmica.

Além desse fato, para Oda (2014 apud SOUZA, 2015, p. 38):

o envelhecimento do pavimento pode também ser considerado uma causa, visto que o revestimento endurece e perde sua elasticidade por conta da oxidação em virtude de tempo de mistura muito longo, temperatura de mistura elevada ou período de armazenamento longo.

A aplicação de selante, ou seja, emulsão asfáltica seguida por tratamento superficial, lama asfáltica ou recapeamento delgado e reciclagem ou recapeamento

para casos mais graves são as atividades de M&R recomendadas para este tipo de trinca (FERNANDES, 2017). Na figura 14 tem-se um exemplo de trinca em blocos.

Figura 14 - Trinca em Blocos



Fonte: Autor (2017)

3.3.1.2.3 *Trincas nos bordos*

São trincas longitudinais próximas à borda do pavimento, usualmente provocadas pela umidade no acostamento. O recalque do terreno de fundação ou a ruptura de aterros podem causar trincas longitudinais ou parabólicas (SOUZA, 2015, p. 38).

Essas trincas ocorrem quando o pavimento não possui acostamento pavimentado, as mesmas se iniciando 60 cm a partir da extremidade do pavimento. Trincas longitudinais foram das trilhas das rodas também estão incluídas nessa classificação. Quanto a sua classificação por severidade, ela é considerada de baixa severidade quando não há perda de material ou despedaçamento; severidade média quando há perda de material e despedaçamento de até 10% da extensão afetada; para ser de alta severidade deve ter despedaçamento em mais de 10% da extensão afetada e perda de material (SOUZA, 2015).

As trincas nos bordos são geralmente consequência de compactação mal realizada; sistema de drenagem deficiente; ou por não adequação da lateral do acostamento, permitindo o acesso de água pela lateral para o interior da estrutura, lembrando que o acostamento é não-pavimentado o que facilita a infiltração (SOUZA, 2015).

Em relação às atividades de M&R, para o revestimento, é aconselhável a selagem das trincas, evitando a entrada de água para as camadas inferiores, o que poderia causar enfraquecimento da estrutura. No entanto, pode ser utilizadas outras medidas como a retirada de vegetação do acostamento, fazer reparos nos equipamentos de drenagens, aplicar pintura de ligação na área remendada e aplicar mistura asfáltica usinada a quente quando possuir recalque no bordo (FERNANDES, 2017).

3.3.1.3 Remendos

“Panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de ‘tapa-buraco’”. (DNIT, 2003a, p.2). Pode ser classificado como remendo profundo quando a massa asfáltica aplicada como remendo preenche mais de uma camada do pavimento; e remendo superficial quando a correção ocorre em uma área localizada da superfície do revestimento com aplicação de uma camada betuminosa (DNIT, 2003a).

O remendo é considerado um defeito do pavimento, apesar de estar relacionado a uma alternativa de conservação da superfície. Mas, principalmente, por problemas na execução do remendo ele acaba se tornando prejudicial. As irregularidades na execução, por conta de um serviço realizado às pressas ou de aplicação de forma equivocada dos remendos aponta fragilidades do pavimento e prejudica no conforto ao rolamento (SOUZA, 2015).

Esse tipo de defeito também possui nível de severidade, assim como os itens anteriores, e são definidos de acordo com o tipo de problema apresentado anteriormente que justificou a aplicação do remendo.

Não é necessário sugerir uma atividade de M&R para este problema, já que só existe uma causa específica que é a má execução da aplicação do remendo. Desta maneira, uma aplicação de remendo de forma correta e satisfatória basta para que não ocorra problemas com o mesmo (FERNANDES, 2017).

3.3.1.4 Painéis

São os conhecidos buracos encontrados na superfície do pavimento, podendo possuir vários tamanhos (mín. de 15 cm). As painéis costumam evoluir das trincas, por ser o local com maior probabilidade de ocorrer fragmentação ou desprendimento de uma placa de revestimento. Dessa forma, com ausência da camada do revestimento, as camadas inferiores ficam expostas à ação da água, que conseqüentemente carrega o material da base aumentando a profundidade do buraco.

As causas prováveis para a ocorrência de painéis são várias, segundo Bernucci et al. (2007):

- Ação do tráfego e intempéries em locais onde já existiam trincas causando a remoção de parte do revestimento;
- Má compactação;
- Falha na dosagem;
- Segregação;
- Falha na pintura de ligação entre camadas;

Um fator muito importante que deve ser levado em consideração é o sistema de drenagem urbana. É de extrema importância um projeto de drenagem executado de forma correta, já que o acúmulo de água sobre o pavimento ou nos bordos é uma das principais causas da deterioração do pavimento.

Segundo Souza (2015), os níveis de severidade das painéis são definidos pelo tamanho e profundidade das mesmas, quanto maior a painela, maior a sua severidade. As atividades de M&R para esse tipo de problema envolvem o famoso procedimento de “tapa-buraco”, onde se aplica uma camada de massa asfáltica na painela, este procedimento é de rápida execução e fácil de transportar. Caso o buraco esteja em um estado mais grave, é necessário fazer uma reabilitação. Vale salientar que o local deva possuir um sistema de drenagem eficiente, para que qualquer atividade de M&R seja satisfatória. Um exemplo de painela é ilustrado na figura 15.

Figura 15 – Panela



Fonte: Autor (2017)

3.3.1.5 Deformação permanente ou afundamento

“A deformação permanente é um tipo de distorção que se manifesta sob a forma de depressões longitudinais, sendo decorrente da densificação dos materiais ou de ruptura por cisalhamento.” (ODA, 2014 apud SOUZA, 2015, p. 45). Segundo o DNIT (2003a), o afundamento é caracterizado por uma depressão da superfície do pavimento, acompanhada por um solevamento ou não, e podendo subdividi-la em afundamento plástico e de consolidação.

O afundamento plástico ocorre pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito, acompanhada por um solevamento. Quando o afundamento possui uma extensão menor ou igual a 6 m, é considerado um afundamento plástico local, caso possua uma extensão maior que 6 m e no sentido de uma trilha de roda, é um afundamento plástico de trilha de roda (DNIT, 2003a).

Afundamento de consolidação é resultado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento sem a presença do solevamento. Assim como o afundamento plástico, quando possuir uma extensão de até 6 m, é considerado afundamento de consolidação local, e se possuir uma extensão maior que 6 metros e estiver localizado na trilha de roda, é então afundamento de consolidação de trilha (DNIT, 2003a).

Esses defeitos são facilmente encontrados em paradas de ônibus, onde existe um grande valor de carga concentrada. Além disso, as deformações podem ser causadas por influência da alta temperatura, má compactação das camadas do pavimento, excesso de ligante asfáltico, um dimensionamento da estrutura equivocada com espessuras ineficientes para a carga do tráfego, e inclusive, por um sistema de drenagem não satisfatório que não evita que a água penetre pelas fendas ou bordos do pavimento, causando o processo de cisalhamento entre camadas que conseqüentemente altera a propriedade de plasticidade da estrutura (SOUZA, 2015).

A severidade do afundamento é baseada na profundidade da deformação a cada 15 metros, e quanto maior a profundidade, maior a severidade. Para corrigir, é possível realizar uma reciclagem do trecho do pavimento, um recapeamento e dependendo da gravidade do problema, uma reconstrução do trecho da via para um nível de severidade elevado (FERNANDES, 2017).

3.3.1.6 Corrugação ou ondulação

Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento (DNIT, 2003a). São encontradas em pontos da via com elevados esforços tangenciais, como curvas, área de frenagem e aceleração. A diferença entre corrugação e ondulação se baseia na suas respectivas formações e distância entre as cristas das ondas, enquanto a corrugação tem seu comprimento na ordem de centímetros e dezenas de centímetros a ondulação tem comprimentos de onda na ordem de metros e é causada pelo adensamento diferencial do subleito (BERNUCCI et al., 2007).

A corrugação tem como motivos para sua ocorrência a má qualidade da mistura ou por problemas construtivos, problemas construtivos estes como fraca ligação entre base e revestimento, o excesso de umidade durante a construção e a cura insuficiente das misturas. A definição do nível de severidade é baseada na qualidade do rolamento (SOUZA, 2015).

Para tratar de tais problemas, é sugerido a aplicação de remendos, reciclagem de revestimentos, reforço estrutural ou para casos mais sérios, a reconstrução da estrutura com novos materiais ou reciclados (FERNANDES, 2017).

3.3.1.7 Exsudação

A exsudação ocorre quando há o excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, fazendo com que o coeficiente de contato de atrito entre o pneu e revestimento diminua.

Outras causas para exsudação é um baixo índice de vazios na mistura asfáltica, sobrecarga do tráfego e alta temperatura do ambiente. A classificação quanto a severidade pode ser definida como; baixa severidade quando há uma mudança de coloração do pavimento devido ao excesso de ligante; média severidade, quando além do que ocorre como baixa severidade, o revestimento sofre uma perda de textura superficial; a alta severidade o pavimento possui uma aparência brilhante, marcas de pneu evidente em tempo quente e agregados cobertos pelo asfalto (SOUZA, 2015).

Segundo Fernandes (2017) e levando em consideração os problemas relatados por conta da exsudação, as atividades de M&R propostas são:

- Tratamento superficial, como um reparo temporário;
- Recapeamento delgado, o ideal para esta situação;
- Aplicação de areia quente, que deve ser compactada logo em seguida e varrida após resfriamento;
- Reciclagem, caso seja necessária uma reabilitação da estrutura.

A figura 16 ilustra um exemplo de exsudação no pavimento.

Figura 16 - Exsudação



Fonte: Oda (2016)

3.3.1.8 Agregados polidos

Quando ocorre um desgaste do agregado, fazendo com que o agregado tenha uma característica polida e a superfície do revestimento lisa, conseqüentemente diminuindo o coeficiente de atrito pneu – pavimento (SHRP, 1993).

Como possíveis causas para esse defeito podemos citar, a ação de abrasão do tráfego sobre o revestimento retirando assim o ligante do agregado e dessa forma expondo os agregados mais graúdos, e a seleção incorreta de materiais para a mistura, como a utilização de agregados com pouca resistência à abrasão. A classificação quanto ao nível de severidade é definida de acordo com a redução no coeficiente de atrito pneu – pavimento, quanto menor o coeficiente, maior a severidade (SOUZA, 2015).

Em relação as atividades de M&R, para manutenção é sugerido um tratamento superficial ou lama asfáltica, e para reabilitação, um recapeamento delgado ou reciclagem (FERNANDES,2017). Na figura 17 tem-se um exemplo de agregados polidos.

Figura 17 - Agregados Polidos



Fonte: Oda (2016)

3.3.1.9 Desgaste

“Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.” (DNIT, 2003a). É importante destacar que desgaste envolve também intemperização, a oxidação, o endurecimento, a volatilização e o envelhecimento.

Segundo Souza (2015), o desgaste também é caracterizado por nível de severidade, sendo de severidade baixa quando ocorre apenas perda de agregados miúdos. Quando a textura superficial do revestimento se torna áspera, e há perda de agregados miúdos e alguns poucos graúdos, é definido como severidade média, enquanto a severidade alta é representada por uma textura superficial muito áspera e com grande perda de agregados graúdos.

Ainda segundo Souza (2015), os motivos para que este problema ocorra se resumem em problemas na mistura ou falhas construtivas, podemos citar alguns como:

- Teor de ligante insuficiente;
- Agregados com pequena resistência à abrasão;
- Compactação insuficiente;
- Superaquecimento da mistura na usina, ocasionando na queima da mistura;
- Endurecimento do ligante;
- Execução do pavimento em condições meteorológicas desfavoráveis, como a chuva;
- Perda de adesividade entre ligante e agregado por conta de produtos químicos.

Portanto, para este tipo de defeito, as atividades manutenção e reabilitação seriam:

- Capa selante, tratamento superficial ou lama asfáltica para manutenção;
- Reciclagem ou recapeamento delgado para reabilitação.

3.3.1.10 Desnível entre pista e acostamento

Diferença de elevação entre faixa de tráfego e o acostamento. Esse defeito é consequência de recapeamento sucessivos no revestimento, erosão ou consolidação de acostamento não pavimentado (SHRP, 1993).

Segundo Souza (2015), o nível de severidade é baseado pelas medições do desnível, e as atividades de M&R são:

- Em caso de erosão ou consolidação executar recomposição do acostamento;
- Para recapeamentos sucessivos, executar fresagem ou reciclagem do pavimento.

3.3.1.11 Bombeamento

É a saída de água pelas trincas do pavimento sob ação dos esforços aplicados pelo tráfego ao pavimento. A identificação do problema se dá na observação de material das camadas inferiores depositados na superfície do pavimento (SHRP, 1993).

Neste caso, não é possível aplicar níveis de severidade, já que o bombeamento depende do teor de umidade das camadas inferiores.

A existência de água nos vazios sob o revestimento ou a pressão exercida resultante do tráfego são as causas para esse defeito, que pode ser sanado pela eliminação da água existente no interior do pavimento, executando um serviço de drenagem subterrânea ou melhoria da já existente (SOUZA, 2015).

4 SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

4.1 Introdução

Segundo Ramos et al. (2006), os Sistemas de Gerenciamento de Pavimento (SGP) foram idealizados por consequência da disparidade entre os modos de projeto e execução com os modos de reabilitação e manutenção. O crescimento acelerado da malha viária acabou prejudicando e sobrecarregando as agências rodoviárias que se viram responsáveis pela preservação de um enorme investimento em pavimentos rodoviários. Enquanto os fundos destinados para a manutenção e reabilitação foram diminuindo, a quantidade de rodovias que necessitavam de M&R foi aumentando por conta do envelhecimento e aumento do tráfego pesado. Ainda segundo Ramos et al. (2006), os engenheiros projetistas e de pavimento acreditavam que era preciso um tratamento sistemático que forneceria um melhor custo/benefício para os recursos limitados. Com base neste conceito, a ideia do SGP – *Sistema de Gerência de Pavimentos* foi criada.

O conceito e desenvolvimento de um banco de dados para a implantação de um SGP ocorreu na década de 70 nos EUA e Canadá. Nos anos 80, continuaram desenvolvendo sistemas de gerência de pavimento na maioria dos estados dos EUA e províncias do Canadá, mas programas idênticos foram desenvolvidos em alguns países da Europa (SOUZA, 2015).

Ramos et al. (2006) explica que no Brasil, a necessidade de desenvolver um SGP próprio se tornou importante por diversos fatores, como:

- Maior evidência da necessidade de manutenção oportuna e adequada da rede rodoviária, em consequência do envelhecimento dos pavimentos;
- A escassez de recursos a serem aplicados ao setor rodoviário, frente à crescente necessidade motivada pela deterioração progressiva da rede;
- Uma percepção dos impactos ambientais causados pelas obras rodoviárias;
- O efeito direto das condições dos pavimentos ao custo de manutenção e operação dos veículos, como o consumo de combustível e pneus.

- Para que o Brasil desenvolva tecnologias mais avançadas para avaliação de pavimentos;
- Órgãos de financiamento como o BIRD, começaram a estimular a utilização de métodos mais racionais dos recursos obtidos por empréstimos.

Em 1983, a Direção do Órgão do DNER criou a Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos para a implantação e desenvolvimento de um SGP próprio. O CPGP inicialmente trabalhou com o Índice de Suficiência para projetos de restauração de pavimentos. A partir de 1985, o DNER começou a utilizar o método do HDM-III para selecionar economicamente as opções de manutenção para os trechos da rede federal pavimentada. O HDM-III foi completamente implantado em 1990 (RAMOS et al., 2006).

No início dos anos 2000, o Brasil começou a utilizar o HDM-4, um novo modelo para análise técnica e econômica de rodovias desenvolvida pelo Banco Mundial. Atualmente muitos estados brasileiros estão em processo de implantação dos seus próprios sistemas de gerência de pavimentos (VISCONTI, 2000).

4.2 Definição

A gerência de pavimentos, de acordo com Haas et al. (1994 apud FERNANDES, 2017), é um processo que envolve todas as atividades implicadas com o propósito de fornecer e manter os pavimentos em um nível adequado de serviço. Abrange desde a obtenção inicial das informações para o planejamento e elaboração de orçamento até a monitorização periódica do pavimento em serviço, passando pelo projeto e construção do pavimento e sua manutenção e reabilitação ao longo do tempo.

Os pavimentos são um patrimônio valioso e que necessitam de atividades de conservação e manutenção. A partir do momento em que essas atividades são interrompidas ou reduzidas, conseqüentemente aumenta os custos de operações dos veículos e o custo dos investimentos para a recuperação do pavimento.

O Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) tem como principal objetivo utilizar de forma eficiente os recursos disponíveis para oferecer e manter um sistema viário seguro, compatível e econômico. Além disso, algumas questões que devem

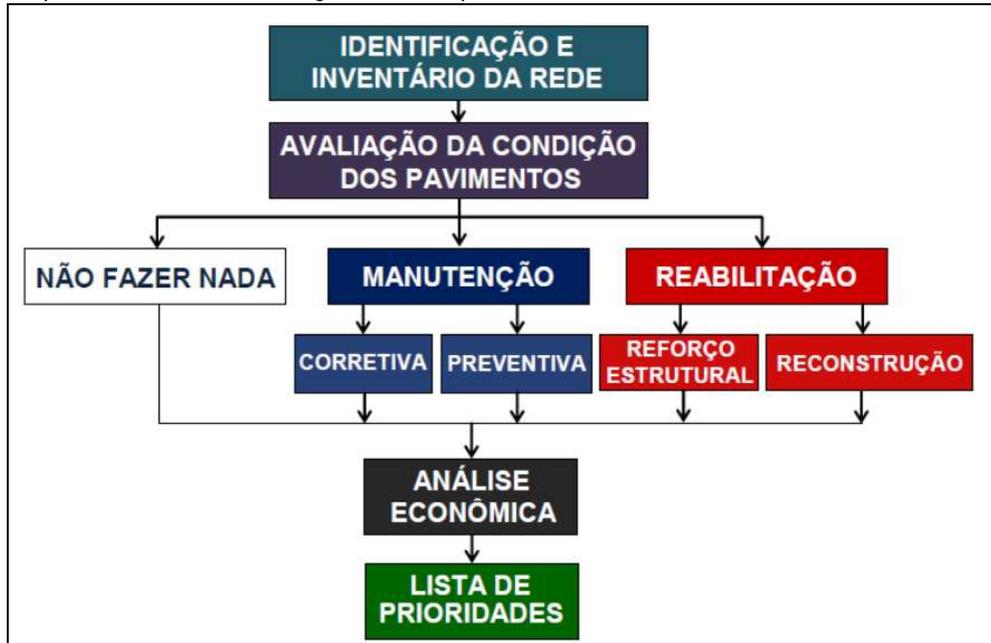
ser respondidas em um SGP, para o auxílio do gestor na tomada de decisões são apresentadas a seguir (FERNANDES JÚNIOR; ODA; ZERBINI, 1999).

- O que precisa ser feito em uma determinada rede de pavimentos? (seleção da estratégia ótima);
- Como devem ser executados os serviços? (definição das atividades de M&R para cada seção);
- Quando serão necessárias as intervenções para evitar a ruptura e prolongar a vida em serviço do pavimento?
- Onde se localizam os projetos prioritários? (pensar nas características de tráfego).

Segundo o mesmo autor na primeira etapa de desenvolvimento de um SGP é feita a identificação e composição do inventário da rede, como a definição do trecho, tipo de pavimento, volume de tráfego e as características estruturais do pavimento (tipo e espessura de cada camada). Na segunda etapa é avaliada a condição atual do pavimento, sendo feito um levantamento visual de cada trecho para identificação de manifestações patológicas e utilização de equipamentos para análise da condição estrutural do pavimento. Após adquirir essas informações, é realizado um estudo em nível de rede para definir qual estratégia deverá ser tomada (por exemplo, “não fazer nada”, “manutenção corretiva”, “manutenção preventiva”, “recapeamento”, “reconstrução”). Em seguida, é realizada a análise em nível de projeto, que engloba atividades de manutenção e reconstrução. E por fim, ocorre as análises econômicas e por prioridade.

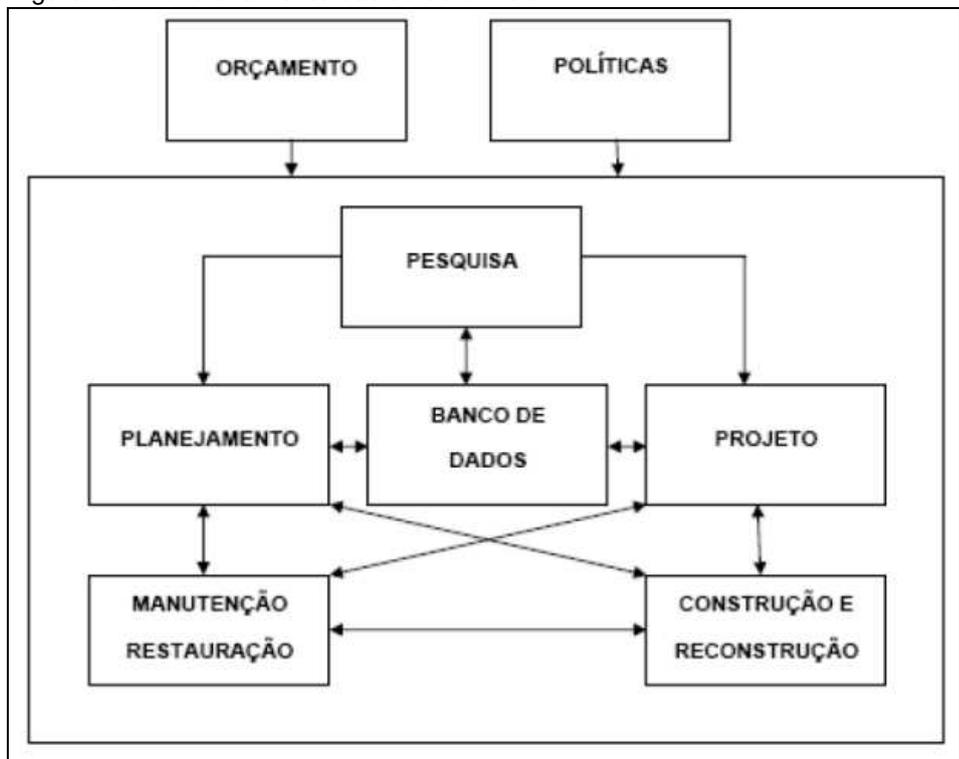
A seguir, nas Figuras 18 e 19, estão detalhadas em fluxograma e por esquematização as etapas e funcionamento de um Sistema de Gerência de Pavimento, respectivamente:

Figura 18 - Relação das estratégias de manutenção e reabilitação com as outras etapas de um sistema de gerência de pavimentos



Fonte: MAPC (1986 apud FERNANDES JÚNIOR; ODA; ZERBINI, 1999)

Figura 19 - Funcionamento básico de um SGP



Fonte: Adaptado de MAPC (1986 apud FERNANDES, 2017)

4.3 Níveis de Rede e Projeto

Segundo Visconti (2000), um sistema de gerência de pavimentos geralmente passa por dois processos de decisão, sendo eles: nível de rede e nível de projeto.

- **Nível de Rede:** Trabalha o estudo de uma grande área ou malha viária. O foco deste processo é mais amplo e abrange estudos que alimentam o banco de dados, como característica do tráfego, custos, as condições dos pavimentos e modelos de previsão. Portanto, em relação à coleta e análise de dados, a quantidade é mais importante que os detalhes, ou seja, a principal ideia do nível de rede é conhecer a malha como um todo, possibilitando uma priorização eficiente dos recursos disponíveis.
- **Nível de Projeto:** Envolve atividades mais detalhadas do projeto e da execução de obras em trechos específicos da malha. Neste ponto, ocorre um estudo mais aprofundado de cada trecho, com estudos das camadas da estrutura do pavimento e a determinação das causas do aparecimento de defeitos e as consequências destes defeitos sobre as camadas inferiores, para ser feita a avaliação e selecionar o método de M&R correto.

Segundo Fernandes (2017), em um sistema de gerência de pavimentos em nível de rede, as informações necessárias são mais simples e o intervalo de tempo para sua obtenção é menor. É importante a escolha da melhor estratégia (“o que fazer”), em indicar a atividade mais apropriada (“como fazer”), em selecionar as seções prioritárias (“onde fazer”), definir o melhor momento para executar atividade de M&R e a que custo (“quando fazer”).

A seguir, são apresentadas algumas aplicações de um SGP em nível de rede (ODA, 2014 apud FERNANDES, 2017):

- Identificação de projetos candidatos para intervenções;
- A priorização dos projetos levando em consideração as características de desempenho, tráfego, custos aos usuários e outros fatores locais;
- Geração de necessidades de orçamento da agencia a curto e longo prazo;

- Análise de estratégias de intervenção, com avaliação da condição atual do sistema e previsão da condição futura, em função dos recursos aplicados a cada alternativa.

A gerência de pavimento em nível de projeto engloba o dimensionamento, construção, manutenção e reabilitação. Neste nível, as decisões são administrativas, técnicas e econômicas. Também está incluso a previsão da durabilidade do pavimento e vida útil após a execução de obras de manutenção e reabilitação, e a avaliação das causas de deterioração (FERNANDES, 2017).

São atividades de gerência de pavimentos em nível de projeto (ODA, 2014 apud FERNANDES, 2017):

- Escolha das atividades de manutenção, reabilitação e reconstrução de acordo com os critérios estabelecidos pelos níveis superiores da gerência;
- Alimentação constante do banco de dados com relação ao desempenho do pavimento, fornecendo dados para atividades de projeto, construção e manutenção;
- Definição dos parâmetros de projeto, como: resistência do subleito, número de solicitações do eixo padrão e especificações para os materiais.

A relação existente entre os dois níveis de SGP, é que o nível de projeto é complemento do nível de rede. O nível de projeto tem um direcionamento para estudos e atividades voltadas para trechos da malha viária especificados e priorizados em nível de rede.

A realimentação do banco de dados através de pesquisa e monitoramento deve ser constante e de maneira precisa nos SGP, já que o banco de dados é responsável por fornecer todas as informações necessárias para que o Sistema de Gerência de Pavimentos trabalhe de forma satisfatória em nível de rede e nível de projeto. Cada nova informação inserida no banco de dados altera em diversos aspectos o funcionamento do SGP, atualizando, por exemplo, dados referentes às condições dos pavimentos, previsões de desempenho, condições ambientais etc (FERNANDES, 2017).

Segundo Fernandes (2017), malhas viárias de cidades de pequeno à médio porte, normalmente ocorre a fusão entre os níveis de rede e de projeto para facilitar o processo decisório e pela combinação de mais fatores no modelo de

- O sistema viário sofre interferências de outros sistemas de infraestrutura urbana, como a rede de esgoto e drenagem, rede de energia (eletricidade e gás) e a rede de telefonia. A manutenção e reparo nesses outros sistemas resultam em intervenções no pavimento, e também existe a presença de poços de visita, que causam descontinuidade no pavimento.
- Separação do tráfego, por exemplo, as vias exclusivas para ônibus.
- Interferência de pedestres, o que incluiu adaptações no pavimento para instalação de sinalização horizontal.
- Sistema de drenagem deve funcionar de forma eficiente, já que o acúmulo de água é o principal fator de surgimento de defeitos nos pavimentos.
- Cidades com topografia acidentada possuem ruas com geometria adaptadas à topografia, conseqüentemente possui vias com inclinação muito elevadas.
- Em um mesmo trecho, a diferença de materiais aplicados em algum reparo ou manutenção causa descontinuidade e até mudança nas características estruturais do pavimento.
- As raízes das árvores presentes próximas as vias podem causar problemas na estrutura do pavimento.
- As interseções entre as vias urbanas são muito solicitadas por conta de que é um ponto de aceleração e frenagem frequente.

Ainda segundo Danieleski (2004), os órgãos gestores locais têm dificuldade em implantar um sistema de gerência de pavimento por conta da restrição orçamentária encontrada, fazendo com que a implantação ocorra até a etapa de priorização de projetos, não dando continuidade a avaliação do pavimento, seu desempenho e a realimentação do banco de dados, o que compromete a eficiência dos processos de gestão do pavimento.

4.5 Banco de Dados

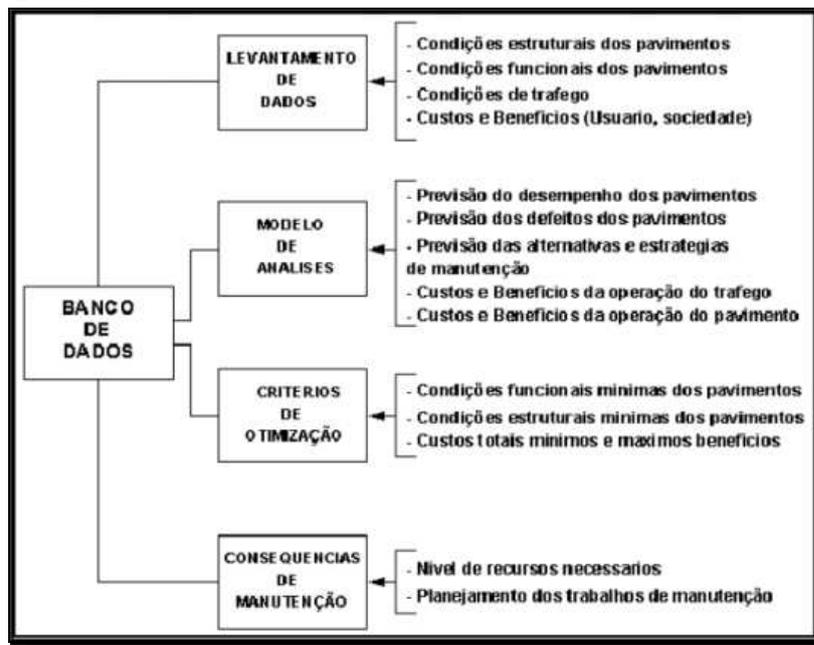
Souza (2015) define que banco de dados é uma ferramenta utilizada para coletar e organizar informações. Informações estas que estão dispostos em uma

estrutura regular que possibilita reorganizar e trabalhar com esses dados para um mesmo fim.

Dessa forma, Souza (2015) explica que no caso de um SGP, o banco de dados é fundamental para o bom funcionamento do sistema, já que nele vão estar incluídas informações sobre a rede viária geral. O banco de dados deve ser alimentado com informações que caracterizam o pavimento quanto a seu desempenho funcional, estrutural, operacional e de segurança, além de dados relacionados a caracterização física do pavimento e ao volume de tráfego. Esses dados irão influenciar diretamente na tomada de decisão.

Sendo assim, o banco de dados serve como um histórico do pavimento, mantendo informações coletadas sobre o pavimento e sendo realimentado com novas informações para atualização dos procedimentos de gestão, facilitando assim o trabalho do responsável pelo SGP na hora de analisar e estudar as seções da rede viária. Com essa troca de informações e atualizações constantes o gestor pode buscar alternativas de possíveis soluções para problemas que já ocorreram experiências passadas (FERNANDES, 2017). A figura 21 ilustra as atividades de um SGP que interagem com o banco de dados.

Figura 21 - Atividades do SGP que interagem com o Banco de Dados



Fonte: Albuquerque (2007)

4.5.1 Informações da rede viária

De acordo com o Manual de Gerência de Pavimentos do DNIT (2011), os dados adquiridos, devem ser armazenados e disponibilizados no banco de dados a ser implementado e centralizado, com o auxílio da equipe técnica responsável pela implantação do Sistema de Gerência de Pavimentos – SGP.

O banco de dados deve ser informatizado, com o auxílio de softwares de edição de texto, de planilhas eletrônicas e de representações gráficas usualmente utilizados pelo DNIT. Os dados relativos à caracterização física e histórica, ao desempenho funcional, ao desempenho estrutural, ao desempenho operacional e ao desempenho de segurança que devem compor o banco de dados estão listados a seguir com base no DNIT (2011)

▪ **Dados relativos à caracterização física e histórica:**

Os dados fundamentais à caracterização física e histórica dos trechos analisados devem ser coletados de projetos já executados, e caso não estejam disponíveis, deve ser elaborado o cadastro dos mesmos. As informações a serem fornecidas são:

a) Gerais:

- a. Tipo de pavimento;
- b. Largura da pista;
- c. Largura do acostamento
- d. Número de faixas de tráfego;
- e. Caracterização climática;
- f. Caracterização orográfica;

b) Tráfego e Geometria:

- a. Número de veículos motorizados (VMD);
- b. Número de veículos não motorizados (VMD);
- c. Sentido do fluxo;
- d. Subidas e Descidas;
- e. Grau de curvatura horizontal;
- f. Velocidade limite.

c) Revestimento:

- a. Tipo e espessura do revestimento existente;
- b. Tipo e espessura do revestimento anterior.

d) Dados Históricos:

- a. Data da construção;
- b. Data da última reabilitação;
- c. Data do último tratamento preventivo.

e) Parâmetros estruturais:

- a. Número estrutural;
- b. Deflexão (Benkelman, FWD etc.);
- c. Tipo, espessura e coeficiente estrutural de cada camada do pavimento;
- d. ISC do subleito;
- e. Condições de drenagem.

- **Dados relativos ao desempenho funcional:**

a) Irregularidade:

A irregularidade, ou irregularidade longitudinal, é um conjunto de desvios na superfície viária levando em consideração um plano de referência. Desvios este que afetam a qualidade de rolamento, a dinâmica dos veículos e a ação dinâmica das cargas sobre a via.

A medida de parâmetros relacionados à irregularidade pode ser realizada por diferentes equipamentos, que são divididos em quatro sistemas medidores, sendo eles:

- a) Sistemas de medidas diretas do perfil – Método de mira e nível;
- b) Sistemas de medida indireta do perfil – Perfilômetros (GMR, AASHTO, CHLOE etc);
- c) Sistemas do tipo resposta – Rugosímetro BPR, Bumpintegrator, Maysmeter, Integrador IPR/USP;
- d) Sistemas de medida com sonda sem contato – Perfilômetro Laser, Perfilômetro Acústico da Universidade FELT.

A execução do levantamento de irregularidade deve ser efetuada seguindo as normas DNER-PRO 164/94 e DNER-PRO 182/94.

b) Defeitos da superfície:

O procedimento mais adequado para quantificação dos defeitos da superfície do pavimento, tanto em nível de rede como de projeto, é o Levantamento Visual Contínuo (LVC).

O Levantamento Visual Contínuo pode ser realizado de forma tradicional, seguindo a norma DNIT 006/2003 PRO, ou através de um levantamento visual contínuo informatizado.

Com a finalidade em nível de rede, a avaliação deve ser realizada na faixa de tráfego que possuir maior quantidade de defeitos. Já para desenvolvimentos de projetos, o levantamento deve ser realizado em todas as faixas de tráfego.

O levantamento das condições da superfície do pavimento deve registrar os tipos de defeitos encontrados na pista de rolamento, a largura dos acostamentos e verificar a existência de degrau entre eles. Tudo isso associado a coordenadas geográficas, executando a contabilização dos dados a cada 20 metros.

▪ **Dados relativos ao desempenho estrutural**

A deflexão é a principal medida para a análise do desempenho estrutural e sua medição ocorre na maioria das vezes por ensaios não destrutivos. Algumas vantagens é que pode ser utilizado em grandes extensões de pista e por inúmeras repetições, podendo assim verificar a variação das capacidades de carga de cada trecho. Esse levantamento é feito utilizando os seguintes equipamentos (DNIT, 2011):

- a) Carregamento quase-estático – ensaio de placa e viga Benkelman, por exemplo;
- b) Carregamento Vibratório – Dynaflect, por exemplo;
- c) Carregamento por impacto – FallingWeightDeflectometer (FWD).

Vale ressaltar que os levantamentos deflectométricos devem ser executados seguindo as normas DNER-ME 021/94, DNER-PRO 273/96 e DNIT 132/2010-PRO.

▪ **Dados relativos ao desempenho operacional e da segurança**

O conhecimento adequado do tráfego incidente em cada segmento de análise e de sua taxa de crescimento é um dos fatores que determinam a efetividade de um SGP (DNIT, 2011).

O estabelecimento dos critérios de contagem e de pesagem é essencial para a formação de um banco de dados confiável, de forma a possibilitar a demanda e o crescimento do tráfego. De forma geral, o SGP utiliza o Volume Médio Diário (VMD) em cada segmento para efeito de análise. Esses valores do VMD são obtidos através do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT), e complementados com contagens específicas, caso necessário.

Em relação à avaliação dos fatores de segurança, é realizada quanto ao levantamento da resistência à derrapagem e do potencial de hidroplanagem.

4.5.2 Custos das Atividades de Manutenção e Reabilitação

Segundo o Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011), os custos das atividades de manutenção e reabilitação são importantes para o planejamento no sistema de gerência. Sabendo os custos dessas atividades é possível definir quais atividades de M&R poderão ser realizadas e também definir os trechos prioritários.

Os valores destes custos são armazenados no banco de dados, e o levantamento destes valores devem ser adquiridos através de pesquisas em empresas da área, consultando bancos de dados de instituições ou também através de dados já cadastrados e utilizados anteriormente.

É fundamental o banco de dados possuir os valores especificados e a unidade de medida das atividades de manutenção, reabilitação e reconstrução.

4.6 Desempenho dos Pavimentos

No capítulo 3 foram apresentados os tipos de defeitos segundo a norma DNIT 005/2003 e pelo método SHRP, e as suas possíveis causas e atividades de M&R mais adequadas. Portanto, será abordado em seguida as avaliações utilizadas para identificar e interpretar esses defeitos (DNIT, 2003a).

4.6.1 Avaliação da Capacidade Estrutural

A análise estrutural é a caracterização dos elementos e variáveis estruturais do pavimento para que seja estudado seu comportamento sobre influência das cargas do tráfego e ambiental, de modo a resultar uma análise mais idônea sobre a capacidade de carga do pavimento existente diante das futuras demandas de tráfego. Portanto, caracterizar as camadas da estrutura do pavimento exige a determinação dos materiais e espessuras utilizadas no pavimento, o que inclui empregar métodos de análise da integridade da estrutura em geral, por exemplo, parâmetros de deflexão (BALBO, 2016).

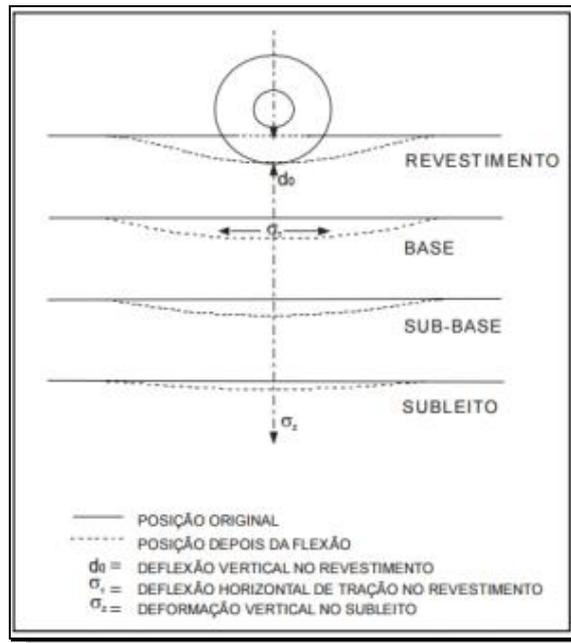
Resumidamente, a análise da capacidade estrutural tem como fim avaliar a capacidade portante do pavimento quando estiver sofrendo influência do carregamento do tráfego e estimar sua vida útil.

Segundo Fernandes (2017), os métodos utilizados para fazer uma análise da estrutura do pavimento são divididos em 2 tipos, destrutivos e não-destrutivos.

- **Avaliação Destrutiva:** O método destrutivo tem como intuito a determinação física da estrutura do pavimento, isto é: definição das camadas existentes, definição dos materiais que as compõem e suas respectivas espessuras, assim como o estado de degradação das próprias camadas. A avaliação destrutiva pode ser executada com a abertura de furos de sondagem, abertura de poços de sondagem, abertura de cavas à pá ou picareta e abertura de trincheiras transversais à pista. É possível adquirir os dados físicos verificando os relatórios e desenhos do projeto, mas para uma análise mais recente e mais detalhada da situação das camadas inferiores, é preciso utilizar dos métodos mecânicos e manuais já citados.
- **Avaliação Não-Destrutiva:** Para a caracterização física da estrutura do pavimento, são utilizados equipamentos de alta tecnologia que utilizam ondas de rádio para definir os materiais e espessuras de cada camada. Para a determinação da capacidade estrutural do pavimento é analisado a deflexão, que nada mais é que o deslocamento vertical da superfície quando submetido a um carregamento. Os equipamentos mais utilizados no Brasil é a viga Benkelman (referência ao engenheiro norte-americano que a inventou) e o defletômetro de impacto Falling Weight Deflectometer (FWD).

É importante salientar que a presença de trincas, deformações permanentes, irregularidades longitudinais ou qualquer outro defeito pode interferir no desempenho estrutural do pavimento. A condição estrutural inadequada para um tráfego atuante, pode trazer consequências mais rápidas ao pavimento e a queda do nível de serventia da pista de rolamento com o tempo, acelerando assim a necessidade de atividades de reabilitação ou restauração. Na figura 22 apresenta-se um exemplo de como a deflexão ocorre no pavimento.

Figura 22 - Deformações no pavimento, também conhecida como deflexões



Fonte: DNIT (2006b)

Portanto, é de extrema importância o estudo da condição estrutural do pavimento, para que o projetista possa obter informações imprescindíveis ao seu trabalho, facilitando a escolha da alternativa mais adequada dentre as atividades de restauração existentes.

4.6.2 Avaliação Funcional

Segundo DER/SP (2006b), a avaliação funcional é a determinação da capacidade de desempenho funcional momentânea, no caso a serventia, que o pavimento proporciona ao usuário da via, ou seja, o conforto em termos de qualidade de rolamento. O desempenho funcional refere-se à capacidade do pavimento de satisfazer sua principal função, que é a de proporcionar uma superfície com serventia adequada em termos de qualidade de rolamento.

Resumindo, a avaliação funcional analisa a condição do pavimento para o usuário, o conforto que a pista de rolamento está lhe oferecendo.

4.6.2.1 Avaliação de defeitos da superfície – levantamento visual contínuo

Segundo Souza (2015), o Levantamento Visual Contínuo (LVC), nada mais é que a análise da condição do pavimento visualmente e contínuo por 2 avaliadores em um carro, sendo um o condutor, onde se é observado por ambos os defeitos na superfície do pavimento. Ao fim de uma avaliação é atribuído uma nota subjetiva quanto ao valor de conforto ao rolamento, conhecido como Valor de Serventia Atual (VSA), que irá ser tratado de forma mais detalhada a frente.

O levantamento visual contínuo pode determinar três parâmetros (DER/SP, 2006b):

- **Índice de Defeitos de Superfície (IDS):** representa o grau de deterioração da superfície do pavimento a partir do somatório da ponderação das frequências e dos pesos relativos às severidades das ocorrências dos distintos tipos de defeitos verificados;
- **Valor de Serventia Atual (VSA):** representa as condições de conforto e segurança ao rolamento percebidas pelos usuários da rodovia;
- **Índice de Condição Funcional (ICF):** caracteriza a condição funcional do pavimento, envolvendo aspectos relacionados aos defeitos de superfície e à serventia, a partir de critério decisório envolvendo os dois índices anteriores.

4.6.2.2 Avaliação objetiva da superfície

Segundo DER/SP (2006b), a avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos consiste no levantamento e classificação de manifestações aparentes na superfície do pavimento e na medida das deformações plásticas nas trilhas de roda.

O levantamento de defeitos é uma das etapas desse tipo de avaliação, e tem como finalidade definir a quantidade e qualificar quanto ao grau de deterioração as patologias presentes no pavimento. Com essa avaliação da condição da superfície do pavimento pode-se identificar (FERNANDES, 2017):

- **Tipo de defeito:** A identificação das manifestações patológicas e suas características relacionando-as aos possíveis mecanismos causadores.

- **Severidade:** O nível da deterioração que o defeito afeta a estrutura do pavimento e compromete seu desempenho, podendo ser classificado como baixa, média ou alta severidade.
- **Frequência:** É a relação percentual expressa entre a área ou comprimento do defeito em relação ao trecho total, também podendo ser classificada em alta, média e baixa.

Os métodos de levantamento de defeitos podem ser manuais ou com auxílio de vídeo. O levantamento manual consiste na anotação em planilha dos defeitos pelos avaliadores contendo dados de localização para análise dos dados. Com o auxílio do vídeo, as imagens são armazenadas e processadas por software específico (FERNANDES, 2017).

Sugere-se a utilização da norma DNIT-PRO 007/2003 para determinar o tamanho e a localização das amostras.

Existem vários métodos para levantamento de defeitos, a escolha do mais adequado vai depender das características da rede em estudo e quais os objetivos a serem alcançados. Alguns métodos utilizam artifícios matemáticos, em conjunto com o levantamento dos defeitos, para expressar numericamente um índice de condição do pavimento.

4.6.2.3 Irregularidade longitudinal

Segundo Bernucci et al. (2007), irregularidade longitudinal é a soma dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico que, como consequência, afeta a dinâmica do veículo, o efeito dinâmico das cargas à estrutura, a qualidade do rolamento e a drenagem superficial da via.

A avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos consiste no levantamento dos desvios existentes na superfície do pavimento (DER/SP, 2006b). A definição da irregularidade longitudinal pode ser feita por vários métodos e equipamentos, sendo que atualmente tem-se empregado a seguinte classificação (SAYERS, KARAMIHAS, 1998 apud BERNUCCI et al., 2007):

- Avaliação Direta: utiliza equipamento de classe I (nível e mira; Dipstick; perfilômetros etc.) e classe II (perfilógrafos, equipamentos com sensores a laser, APL francês etc.);

- Avaliação Indireta: equipamentos de classe III do tipo-resposta (TRL Bum Integrator, Maysmeter, Merlin etc.).

Os equipamentos do tipo resposta são utilizados para calcular o IRI – *International Roughness Index*, em português Índice de Irregularidade Internacional. O IRI é um índice calculado, e expresso em m/km, que analisa os desvios da superfície em comparação com o projeto geométrico. Este índice é utilizado em vários países para análise e controle de obras (BERNUCCI et al., 2007).

Os valores típicos do IRI são apresentados na tabela 1:

Tabela 1 - Condições do pavimento em função do IRI

IRI (m/km)	Condições
1,5 <IRI< 2,5	Pavimentos em excelentes condições
2,5 <IRI< 4,5	Pavimentos em boas condições
4,5 <IRI< 8,0	Pavimentos em condições regulares
8,0 <IRI< 12	Pavimentos em condições ruins
IRI >12	Pavimentos em péssimas condições

Fonte: Fernandes (2017)

4.6.2.4 Cadastro contínuo de reparos superficiais e profundos

É o cadastro de remendos superficiais e profundos necessários previamente à execução da restauração principal. O cadastro deve ser executado por técnico experiente em avaliação de pavimentos durante o levantamento de defeitos da avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis (DNER/SP, 2006b).

Resumindo, é o registro de todos os remendos já realizados em todas as faixas de tráfego da via e acostamento antes da execução das obras de restauração.

4.6.3 Avaliação Subjetiva–Valor de Serventia Atual

Nos Estados Unidos a avaliação subjetiva de conforto ao rolamento do pavimento é denominada *presente serviceabilityratio*(PSR), correspondendo no Brasil ao valor de serventia atual (VSA) (BERNUCCI et al., 2007).

Segundo Fernandes (2017), o Valor de Serventia Atual é uma atribuição numérica compreendida em uma escala de 0 a 5, dada pela média de notas de técnicos avaliadores para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em um determinado trecho, em um dado momento da vida do pavimento. Na tabela a seguir, é possível observar que a escala varia de 0 a 5 de serventia, tabela essa que é adotada no Brasil pelo DNIT 009/2003-PRO.

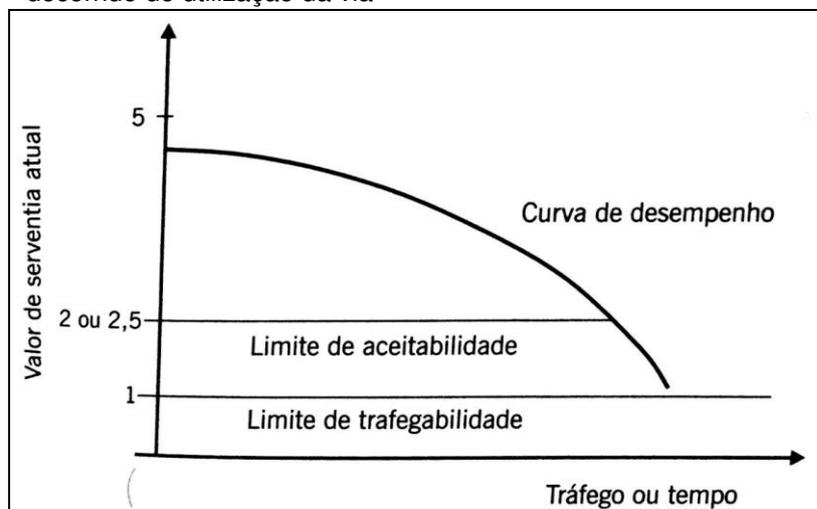
Tabela 2 - Níveis de serventia

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

Fonte: DNIT (2003b)

O VSA do pavimento diminui com o tempo, como consequência do tráfego e das intempéries. Na figura a seguir é ilustrada a relação do tráfego e tempo decorrido de utilização da via com o índice de serventia:

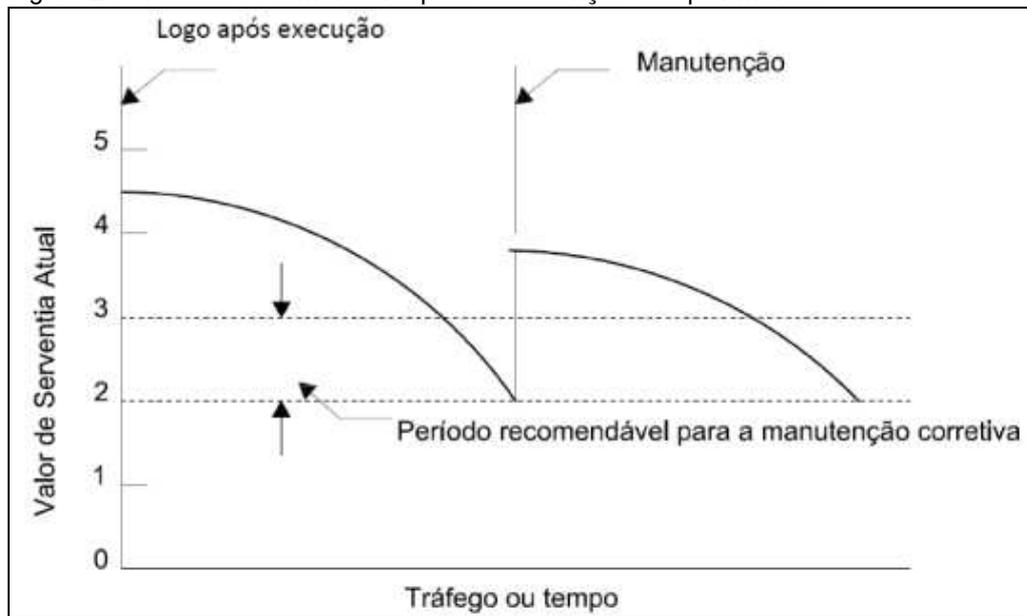
Figura 23 - Variação de serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via



Fonte: Bernucci et al. (2007)

Portanto, o VSA pode servir como parâmetro para determinar se existe a necessidade de realizar alguma interferência no pavimento ou não para recuperar um valor de serventia mais adequado. Demonstra-se na figura 24, como a manutenção aumenta o valor de serventia em certo ponto da vida útil do pavimento.

Figura 24 - Período recomendável para manutenção dos pavimentos



Fonte: Oda (2016)

4.7 Métodos de Levantamento

Manual de Identificação de Defeitos SHRP

Em razão da necessidade de uniformizar a coleta de dados sobre o pavimento, utilizou-se nesse trabalho o manual de levantamento de defeitos presente no SHRP (Programa Estratégico de Pesquisas Rodoviárias), que foi desenvolvido em 1987 contando com a participação de mais de 20 países incluindo o Brasil. Portanto, este foi o método escolhido para o levantamento de defeitos no estudo de caso desse trabalho (FERNANDES, 2017).

O manual é constituído por um catálogo que possui os tipos de defeitos em pavimentos flexíveis e rígidos, dando detalhes para cada defeito, como sua descrição, nível de severidade e as formas de quantificação de cada um, além de possuir fotos de cada defeito para auxiliar na identificação (FERNANDES).

Os principais defeitos e suas respectivas características e descrições quanto a severidade, segundo o manual, já foram descritos e citados no capítulo 3

deste trabalho. Será exposto a seguir como é feito a medição e levantamento de cada defeito segundo o manual SHRP (1993):

1) Trincas por fadiga

-Como medir:

Registrar a área afetada (m²) para cada nível de severidade.

2) Trincas em blocos

-Como medir:

Registrar a área afetada (m²) para cada nível de severidade.

3) Trincas nos bordos

-Como medir:

Registrar a extensão (m) para cada nível de severidade.

4) Trincas Longitudinais

-Como medir:

Registrar a extensão das trincas (m) e o nível de severidade correspondente e registrar a extensão com selante em boas condições.

5) Trincas por reflexão

-Como medir:

Registrar as trincas transversais e longitudinais separadamente, registrar o número de trincas transversais, registrar a extensão das trincas e os níveis de severidade e registrar a extensão com selante em boas condições.

6) Trincas Transversais

-Como medir:

Registrar o número de trincas, a extensão e os níveis de severidade; registrar a extensão com selante em boas condições.

7) Remendos

-Como medir:

Registrar o número de remendos e a área afetada (m²) para cada nível de severidade.

8) Painelas

-Como medir:

Registrar o número de painéis e a área afetada por cada nível de severidade.

9) Deformação permanente

-Como medir:

Registrar a máxima deformação permanente nas trilhas de roda.

10)Corrugação

-Como medir:

Registrar o número de ocorrências e a área (m²) afetada.

11)Exsudação

-Como medir:

Registrar a área (m²) para cada nível de severidade.

12)Agregados polidos

-Como medir:

Registrar a área afetada (m²).

13)Desnível (degrau) entre pista e acostamento

-Como medir:

Registrar o desnível (mm) a cada 15m, ao longo da interface pista-acostamento.

14)Desgaste

-Como medir:

Registrar a área afetada (m²) para cada nível de severidade.

15)Bombeamento

-Como medir:

Registrar o número de ocorrências e a extensão afetada (m²).

Outros Métodos

Segundo Fernandes (2017), existem outros métodos utilizados para o levantamento de defeitos no pavimento e que possuem certa relevância, sendo necessário então citá-los. Tem-se então como exemplo o manual da AASHTO (1986) – Apêndice K, que conta com 17 tipos de defeitos catalogados, sendo destes

14 coincidentes com o SHRP. Vale lembrar também que é possível utilizar a norma DNIT 005/2003 – TER (Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – terminologia) em conjunto com a DNIT 0006/2003 – PRO e a DNIT 007/2003 – PRO.

4.8 Índices Combinados de Defeitos

A avaliação dos defeitos superficiais dos pavimentos envolve a coleta de dados, quanto ao tipo, extensão e severidade. Após o levantamento estiver concluído, é calculado o índice combinado de defeitos, que é representado numericamente pela soma dos efeitos dos defeitos na deterioração do pavimento (FERNANDES, 2017).

Sabendo que cada defeito deteriora o pavimento de forma e intensidade diferente, é então adicionado ao cálculo fatores de ponderação que são ajustados quanto às condições operacionais e ambientais do local que será estudado (FERNANDES, 2017).

Atualmente existem vários métodos para o cálculo do índice de qualidade do pavimento. Portanto, muitos métodos têm sido propostos e utilizados.

4.8.1 Método ICP -Índice de Condição do Pavimento

Segundo Fernandes (2017), o índice de condição do pavimento expressa o grau de deterioração do pavimento. Foi desenvolvido por pesquisadores americanos e publicado pelo *United States Army Corps of Engineers* (USACE) em 1979. Este método define intervalos em função da importância por tipo de defeito na caracterização de um índice de condição do pavimento, utilizando os 15 defeitos considerados no programa SHRP.

Para o cálculo do ICP, é utilizada a seguinte equação:

$$ICP = 100 - \sum_i \sum_j D_{ij} \times F_{ij}$$

Equação 1 - Cálculo do ICP

Os valores D_{ij} e F_{ij} são variáveis que representam, respectivamente, extensão e fator de ponderação i com o nível de severidade j .

O valor de ICP varia entre 0 a 100, onde 100 é o pavimento em ótimo estado, e a cada defeito, segundo sua severidade e extensão, esse valor vai se reduzindo, podendo chegar a 0. Como mostra a Tabela 3:

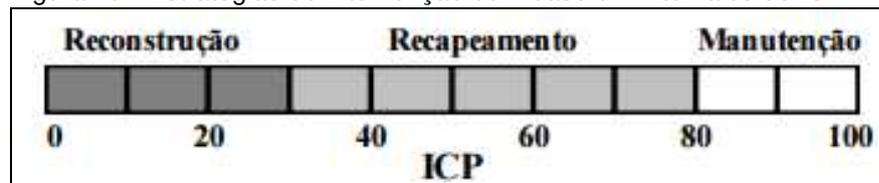
Tabela 3 - Índice de Condição do Pavimento

ICP	Conceito
100-86	Excelente
85-71	Muito Bom
70-56	Bom
55-41	Regular
40-26	Ruim
25-11	Muito Ruim
10-0	Péssimo

Fonte: Fernandes (2017)

O método também propõe uma seleção de atividades de intervenção utilizando a seguinte escala:

Figura 25 - Estratégias de intervenção com base em intervalos do ICP



Fonte: Fernandes (2017)

Um exemplo de planilha de campo para a avaliação da condição de pavimento deste método e utilizado para este trabalho é apresentado na Figura 26:

Figura 26 - Planilha recomendada para avaliação de pavimento

PLANILHA PARA AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS		
Rodovia ou Rua: _____	Município ou Cidade: _____	
Código da Seção: _____		
Extensão: _____	Largura: _____	
Tipo de Pavimento: _____	Data: _____	
DEFEITOS		AVALIAÇÃO
1. Trincas por Fadiga	0-15	_____
2. Trincas em Blocos	0-5	_____
3. Trincas nos Bordos	0-5	_____
4. Trincas Longitudinais	0-5	_____
5. Trincas por Reflexão	0-5	_____
6. Trincas Transversais	0-5	_____
7. Remendos	0-5	_____
8. Pannels	0-10	_____
9. Deformação Permanente nas Trilhas de Roda	0-15	_____
10. Corrugação	0-5	_____
11. Exsudação	0-5	_____
12. Agregados Polidos	0-5	_____
13. Desgaste	0-5	_____
14. Desnível Pista - Acostamento	0-5	_____
15. Bombeamento	0-5	_____
	Soma dos Defeitos:	_____
Índice de Condição do Pavimento:	ICP = 100 - Soma dos Defeitos	
	ICP = 100 - _____	
	ICP = _____	

Fonte: Oda (2016)

4.8.2 Índice de Gravidade Global – IGG

O índice de gravidade global (IGG) é outro índice combinado de defeitos muito utilizado no Brasil (norma DNER 008/94 – PRO substituída pela norma DNIT 006/2003 – PRO), sendo realizada a pé registrando em planilha os tipos de defeitos e severidade sem a avaliação da extensão dos mesmos (FERNANDES, 2017).

IGG leva como base os defeitos descritos na norma DNIT 005/2003 – TER, que possui 10 tipos de defeitos (trincas, afundamentos, corrugação, escorregamento, exsudação, desgaste, pannels, remendos e outros dois referentes são derivados da mensuração das flechas nas trilhas de roda) sendo eles já aprofundados no capítulo 3 deste trabalho.

Para o cálculo do IGG, cada defeito é considerado isoladamente com um valor específico, chamado índice de gravidade individual (IGI), onde cada defeito possui um peso. O IGG é obtido seguindo as seguintes equações:

$$IGG = \sum IGI$$

Equação 2 - Cálculo do IGG

Onde,

$$IGI = f_r \cdot f_p$$

Equação 3 - Cálculo do IGI

e,

$$f_r = \frac{100 \cdot f_a}{n}$$

Equação 4 - Cálculo da frequência relativa

Sendo:

- IGG: Índice de Gravidade Global;
- IGI: Índice de Gravidade Individual;
- Fr: Frequência relativa (número de vezes que a ocorrência foi verificada em relação ao número total de estações);
- Fa: Frequência absoluta (número de vezes que a ocorrência foi verificada);
- Fp: Fator de ponderação;
- n: número de seções inventariadas.

Os fatores de ponderação utilizados no cálculo do IGI de cada defeito podem ser encontrados na Tabela 4:

Tabela 4 - Valor do Fator de Ponderação

Tipo	Defeito	Notação	Fator
1	Corrugação - Ondulações Transversais	O	1.0
	Panelas	P	
2	Afundamentos Plásticos Locais	ALP	0.9
	Afundamentos Plásticos nas Trilhas de Roda	ATP	
3	Trincas Interligadas Tipo Couro de Jacaré sem Erosão Acentuada nos Bordos	JE	0.8
	Trincas em Bloco com Erosão Acentuada nos Bordos	TBE	
4	Remendos Existentes (Superfície e/ou Profundos)	R	0.6
5	Trincas Interligadas Tipo Couro de Jacaré com Erosão Acentuada nos Bordos	J	0.5
	Trincas em Bloco sem Erosão Acentuada nos Bordos	TB	
6	Exsudação	EX	0.5
7	Desgaste acentuado	D	0.3
8	Fissuras	FI	0.2
	Trincas Isoladas Transversais Curtas	TTC	
	Trincas Isoladas Transversais Longas	TTL	
	Trincas Isoladas Longitudinais Curtas	TLC	
	Trincas Isoladas Longitudinais Longas	TLL	

Fonte: DNIT (2003b)

A condição do pavimento pode ser conceituada segundo o IGG, sendo apresentada na tabela abaixo, os intervalos de valores e seus respectivos conceitos.

Tabela 5 - Condição do pavimento em função do IGG

IGG	Conceito
0-20	Bom
20-80	Regular
80-150	Mau
150-500	Péssimo

Fonte: DNIT (2003b)

Segundo Fernandes (2017), o método do IGG possui limitações, como o fato de levar em consideração apenas o tipo de defeito deixando de lado a sua respectiva severidade e considerar apenas o número de ocorrências e não a extensão dos defeitos.

4.9 Métodos de Priorização de Intervenções de Manutenção

Segundo Fernandes (2017), observa-se que a escolha de qual atividade de manutenção a ser aplicada e em qual trecho, é definida na maioria das vezes por um corpo técnico sem embasamento científico, que tomam decisões por “achismo” ou até mesmo por questões políticas, o que acaba comprometendo os recursos já escassos para a manutenção e resultando em uma manutenção precária e que não abrange todas as áreas de forma correta.

Portanto, é de fundamental importância a priorização correta nas intervenções nos pavimentos, utilizando métodos de priorização. Os métodos de priorização em gerência de pavimento são, segundo Fernandes (2017), estudos que tem por finalidade, a ordenação dos projetos em escala de relevância reunidos até acabarem os recursos orçamentários previstos no planejamento anual, podendo ser definidos por índices subjetivos ou através de cálculos da relação custo-benefício das intervenções.

Ainda segundo Fernandes (2017), os métodos de priorização podem ser baseados em modelos computacionais, que calculam através de dados inseridos por métodos estatísticos ou sistemas lineares, como exemplo a análise da irregularidade do pavimento avaliado e a previsão da irregularidade após a intervenção em um determinado período.

Outros métodos são resultados de estudos e pesquisas na área de gerencia de pavimentos, que apresentam possibilidades simplificadas para os índices de priorização.

Fernandes Júnior e Pantigoso (1997 apud FERNANDES, 2017) apresenta uma relação inversa entre Índice de Prioridade (IP) e o Índice de Condição do Pavimento (ICP) como parâmetro para priorização, de forma simplificada se explicaria que quanto pior a condição, maior seria sua prioridade, expressa pela seguinte expressão:

$$IP = \frac{1}{ICP}$$

Equação 5 - Relação entre IP e ICP

Sendo:

- IP= Índice de Prioridade
- ICP= Índice de Condição do Pavimento

Pode-se adicionar o efeito do tráfego, dessa forma:

$$IP = \frac{\sqrt{VMD}}{ICP}$$

Equação 6 - Relação entre IP, ICP e VMD

Em que:

- IP= Índice de Prioridade
- ICP= Índice de Condição do Pavimento
- VMD= Volume de Tráfego Médio Diário

Esses dois exemplos de relação representam de forma simples a questão da priorização das atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos, mas a partir dessas relações podemos ter uma base sobre os modelos de priorização para um sistema de gerência de pavimentos.

4.9.1 Modelo Empírico Segundo Tavakoli

Desenvolvido por Tavakoli em 1992, determina o índice de prioridade (IP) em função do índice de condição do pavimento (ICP), fator de tráfego, classe da via, tipo e volume de tráfego e da manutenção do pavimento, e é representado pela seguinte equação (FERNANDES, 2017):

$$IP = \frac{1}{ICP} \cdot TF \cdot FC \cdot TR \cdot MF$$

Equação 7 - Índice de prioridade calculado pelo modelo empírico de Tavakoli

Onde:

- IP = Índice de prioridade
- ICP = Índice de condição do pavimento
- TF = Fator de tráfego, variando entre 10 e 100 conforme volume diário médio de tráfego, seguindo os seguintes valores:

Tabela 6 - TF em função do VDM

VDM	TF
0 - 99	10
100 - 499	20
500 - 999	30
1000 - 1999	40
2000 - 4999	50
>5000	100

Fonte: Adaptado de Tavakoli (1992 apud FERNANDES, 2017)

FC = Fator de classe, que corresponde à:

Tabela 7 - FC em função do tipo de via

FC	tipo de via
1	vias locais
1,1	vias coletoras
1,2	vias arteriais

Fonte: Adaptado de Tavakoli (1992 apud FERNANDES, 2017)

TR = Tipo de tráfego, sendo 1,1 para trechos que servem de itinerário para ônibus ou onde existam prédios institucionais que atraem elevados fluxos de tráfego (como escolas, hospitais, centros comerciais etc), e 1 para os demais casos.

MF = Fator de manutenção que obedece a equação abaixo:

$$MF = \frac{1 + \text{índice de manutenção}}{10}$$

Equação 8 - fator de manutenção calculado pelo modelo empírico de Tavakoli

Onde o índice de manutenção varia de 0 a 5, sendo valor 0 para pouco ou nenhum investimento e 5 para o custo elevado de manutenção, seguindo a seguinte relação, de acordo com a estratégia de manutenção/reabilitação adotada, conforme tabela abaixo.

Tabela 8 - Índice de manutenção em função da estratégia

Estratégia	Índice de manutenção
1A	0
A	1
B	2
C	3
D	4
E	5

Fonte: Fernandes (2017)

As estratégias de manutenção e reabilitação são escolhidas de acordo com o ICP e IR, conforme apresentadas nas tabelas a seguir:

Tabela 9 - Codificação das estratégias

Estratégia	
1A	Não fazer nada
A	Manutenção de rotina
B	Manutenção preventiva
C	Ação emergencial
D	Reabilitação
E	Reconstrução

Fonte: Fernandes (2017)

Tabela 10 - Estratégias recomendadas segundo o ICP

ICP	Considerações	Opções
100 - 96	Nenhum defeito	1A
95 - 76	Nada	A
75 - 61	Valor normal/pequenos defeitos na superfície	A
	Preponderância de defeitos superficiais	B
60 - 51	Preponderância de defeitos superficiais	B
	Defeitos uniformemente distribuídos	C
50 - 41	Preponderância de defeitos estruturais ou muita irregularidade (PSI < 2.0)	D
	Realativamente suave (PSI > 2.5)	C
	Irregular (PSI < 2.5)	D
40 - 26	Suave a irregular (PSI > 2.0)	D
	Muito irregular (PSI < 2.0)	E
25 - 0	Nada	E

Fonte: Fernandes (2017)

Resumindo, quanto maior o valor do Índice de Prioridade (IP) calculado, maior será a prioridade de intervenção para o respectivo trecho.

4.9.2 Modelo de Priorização baseado no HDM-III

O HDM é um modelo que simula condições físicas e econômicas das rodovias durante o período de análise, para uma série de alternativas e cenários especificados pelos usuários, esse modelo tem por objetivo fazer estimativas de custo e avaliações econômicas de diferentes opções de construção e manutenção, incluindo diferentes alternativas temporais (BECKER, 2008).

Segundo Fernandes (2017), a priorização tem como fundamento o conceito de análise de custo-benefício para o ciclo de vida do pavimento, onde os benefícios são quantificados com base nos custos de viagem, principalmente no custo operacional dos veículos, tempo de viagem reduzido, menor número de acidentes e melhoras nos efeitos ambientais.

Como resultado, é obtido uma priorização que visa o planejamento a longo prazo e a divisão uniforme dos recursos destinados às atividades de M&R em cada ano, conferindo um Índice de Prioridade (IP) para cada subtrecho.

4.9.3 Modelo de priorização do DNER

Segundo Becker (2008), o modelo desenvolvido pelo DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, atual DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes, apresenta um índice de prioridade (IP), relacionando o índice de estado da superfície (IES) e o custo operacional dos veículos (IC).

Ainda segundo Becker (2008), esses índices foram calculados de forma teórica, com base em dados estatísticos e modelos de previsões e são encontrados em função do Índice de Gravidade Global (IGG), do valor de serventia atual (VSA), do quociente de irregularidade (IR) e do Volume Médio Diário de Tráfego (VDM), como podemos observar nas Tabelas 11 e 12:

Tabela 11 - Índice de estado da superfície (IES)

Conceito	IGG	VSA<2,5	2,5<VSA<3	3<VSA<3,5	3,5<VSA<4	VSA>4
Excelente	<15	*	*	5	3	0
Bom	>15 e <30	*	6	6	4	2
Regular +	>30 e <60	8	7	7	5	4
Regular -	>60 e <80	9	8	8	6	*
Ruim	>80 e <120	10	9	9	*	*
Péssimo	>120	10	10	*	*	*

(* Casos incoerentes ou inconsistentes)

Fonte: Becker(2008)

Tabela 12 - Índice de Custo Operacional (IC)

QI (contagens/km)	VDM<8000	8000<VDM<12000	12000<VDM< 25000	VDM>25000
QI<22	0	2	4	6
22<QI<40	1	3	5	7
40<QI<55	2	4	7	9
QI>55	3	5	8	10

Fonte: Becker(2008)

O Índice de Priorização (IP), em função do IES e do IC, é calculado através da seguinte equação:

$$IP = \frac{p_1 \cdot IC + p_2 \cdot IES}{p_1 + p_2}$$

Equação 9 - Índice de prioridade calculado pelo modelo de priorização do DNER

Sendo:

- IP = índice de priorização;
- IC = índice de custo operacional;
- IES = índice de estado da superfície;

- p_1 e p_2 = pesos de ponderação para atribuir maior importância a um índice em relação ao outro.

4.9.4 Escolha do Método de Priorização a ser utilizado para o Software e Estudo de Caso

Após apresentar os principais modelos de priorização utilizados no Brasil e no mundo, é importante decidir qual o método a ser utilizado no desenvolvimento do software e no estudo de caso (FERNANDES, 2017, p. 53).

Segundo Fernandes (2017), por conta da ausência de informação em relação ao pavimento, inexistência do histórico do mesmo, falta de um plano de investimentos, recursos já comprometidos, o que impossibilita a aquisição de equipamentos para o cálculo de determinados parâmetros, o software foi desenvolvido para uma cidade de pequeno a médio porte, que possui essas características em comum. Portanto a escolha do método tende pelo o que utiliza menos recursos na análise dos pavimentos.

Sendo assim, o método de priorização escolhido para o desenvolvimento do software foi o modelo proposto por Tavakoli, sendo esse um método amplamente utilizado, que não necessita de altos investimentos, mas apesar disso apresenta resultados satisfatórios semelhantes aos métodos mais sofisticados, utilizados nos melhores softwares, segundo análises de comparação entre o método e a priorização do software HDM-4 por Becker (2008). Além do fato do modelo se adequar bem as características dos pavimentos brasileiros e ser de fácil adaptação, caso necessário. (FERNANDES, 2017, p. 53).

Segundo Fernandes (2017) o modelo sugerido por Tavakoli foi desenvolvido em 1992, e atualmente o volume diário médio de tráfego é muito superior ao que existia naquela época, a relação entre fator de tráfego e o VDM está defasada. Segundo o manual de estudos de tráfego do DNIT (2006 apud FERNANDES, 2017), a taxa de crescimento do tráfego, no período de 2001 a 2010 foi de 26% e 30% para ônibus e veículos de carga respectivamente, e será de 20% a 25% para o período de 2010 – 2020. Portanto, seguindo essa taxa de crescimento, a relação entre fator de tráfego e VDM será atualizada, mantendo os valores dos fatores de tráfego e aumentando o valor do VDM em 60%.

4.10 Softwares Existentes sobre SGP

4.10.1 SGP Desenvolvido na Finlândia

O SGP desenvolvido pela Administração Rodoviária e Hidroviária da Finlândia (*Roadway and Waterway Administration, RWA*), combina um modelo de otimização baseado no Processo de Markov que direciona as questões de reabilitação dos pavimentos e alocação de fundos em nível de rede a um modelo que analisa a prioridade e a programação dos projetos individuais (FERNANDES, 2017).

A gerência em nível de rede e em nível de projeto, neste caso, estão inseridas no mesmo *menu* dentro da base do programa, com isso é possível realizar uma troca de informações entre a gerência e destes dois níveis, portanto uma vantagem deste tipo de SGP.

Para o nível de rede, são elaboradas normas para organizar a seleção e programação de grupos de projetos. O programa analisa os gastos resultantes das possíveis estratégias alternativas para cada seção de pavimento, recomendando a que tiver melhor custo/benefício, ou seja, a que mais minimizar os custos a longo prazo (FERNANDES, 2017).

Este programa consiste de quatro módulos básicos (SHOJI, 2000):

- Um modelo probabilístico que descreve a deterioração do pavimento;
- Um modelo do custo operacional dos veículos;
- Um modelo de custo de construção para cada atividade de reabilitação;
- Análise das limitações possíveis em relação ao orçamento.

Sobre o nível de rede fica toda a responsabilidade da parte econômica, da alocação dos recursos. Para o nível de projeto, são consideradas apenas o conjunto de variáveis não-econômicas.

Vale ressaltar que a análise em nível de projeto é desempenhada em nível distrital, portanto a rede nacional é dividida em arquivos separados para cada distrito. Essa parte do sistema fornece fácil acesso à base de dados de projeto e de operações que podem ser utilizados para analisar determinados projetos e suas relações com os demais (SHOJI, 2000).

4.10.2 Sistema PMS – III: SGP Desenvolvido em Ohio

O sistema PMS (*Pavement Management System – 3th version*) trata de um SGP para aplicação em nível de rede, sendo desenvolvido e implementado pelo Departamento de Transportes de Ohio (*Ohio Departmento Transportation*, ODOT), que determina as estratégias de M&R e o orçamento anual necessário a cada seção durante um período de 6 anos (FERNANDES, 2017). Essencialmente, levando em consideração apenas a situação atual e um modelo de previsão determinístico, este SGP consegue prever a futura condição da rede, além de suas necessidades e orçamentos.

Dois critérios são utilizados para selecionar a estratégia de M&R (SHOJI, 2000):

- A maximização dos benefícios produzidos pelos pavimentos a partir de um determinado investimento anual; ou
- A minimização dos custos para manter a condição da rede acima de um determinado nível mínimo.
- Além disso, o programa é constituído pelos seguintes módulos (SHOJI, 2000):
 - Condição do pavimento: caracteriza os defeitos do pavimento, a qualidade de rolamento, e a segurança do usuário;
 - Estratégia de reparo: seleção considerando-se informações sobre a via e os defeitos existentes (tipo, severidade e extensão), o tipo do pavimento e a classe funcional;
 - Custo: determinado conforme a estratégia selecionada;
 - Previsão do desempenho: inclui modelos de previsão da deterioração do pavimento com o tempo, sendo utilizadas equações em função do volume de tráfego, estrutura do pavimento e características do solo;
 - Otimização: identifica a estratégia e o orçamento ótimos a serem alocados;
 - Geração de relatórios.

4.10.3 Sistema NOS: SGP Desenvolvido no Arizona

Inicialmente denominado de NOS (Network Optimization System), ele é um sistema de otimização em nível de rede que tem sido utilizado pelo ADOT (Arizona Departamento Transportation) desde 1980, e foi implementado e denominado AZNOS em 1993. É um software que auxilia a realização de um planejamento financeiro efetivo para programas de preservação de pavimentos através do uso de uma pequena quantidade de informações, considerando apenas a irregularidade longitudinal e as trincas (WANG et al., 1992 apud FERNANDES, 2017).

O modelo original de NOS recomendava uma estratégia ótima de reabilitação a longo prazo (estacionário) e outra estratégia ótima de reabilitação a curto prazo (antes de atingir o estado estável) para pavimentos em qualquer condição (SHOJI, 2000). Para minimizar o custo total de gerencia era utilizado um modelo de programação linear, exatamente para manter a rede acima dos padrões mínimos, enquanto que as probabilidades de transição das condições dos pavimentos eram definidas pelo Processo de Markov.

Em 1992, o programa NOS foi revisado e atualizado, sendo assim chamado de AZNOS. Para esse aprimoração foram levados em conta dados dos últimos 13 anos, dessa forma gerando novas matrizes de probabilidades de transição e adicionando novas ressalvas quanto às irregularidades longitudinais e às trincas (FERNANDES, 2017).

Um processo mais exigente para selecionar as estratégias de M&R foi adotado, pois durante o desenvolvimento do antigo NOS foi percebido que mesmo para intervenções de menor grau tomava-se muito tempo para selecionar as estratégias mais adequadas (SHOJI, 2000). Os seguintes critérios começaram a ser obedecidos:

- A manutenção de rotina é praticável para todos os estados de conciliação;
- Todas as estratégias são praticáveis para os melhores estados de condição;
- Mais que uma ação deve ser praticável em cada estado de condição.

4.10.4 Sistema HDM: Versão HDM-4

O HDM é o sistema mais conhecido e importante para a análise em nível de rede, e atualmente está na versão HDM-4. Este programa é bem avançado, e é levado como uma meta para órgãos rodoviários que buscam atingir esse nível de gerenciamento, conforme seus recursos técnicos e disponibilidade financeira (FERNANDES, 2017).

O programa HDM-4 foi idealizado para a análise econômica de rede rodoviária para investimentos com restrição orçamentária, buscando atingir a maior extensão possível, visando o maior retorno através do Valor Presente Líquido (VPL) dos diversos cenários estudados, dentro de um horizonte de projeto (20 anos, por exemplo), podendo analisar diversas alternativas de intervenção para cada célula, indicando a época para a realização dos investimentos, tendo como objetivo final a melhor condição da rede no final do horizonte de projeto.

[...].

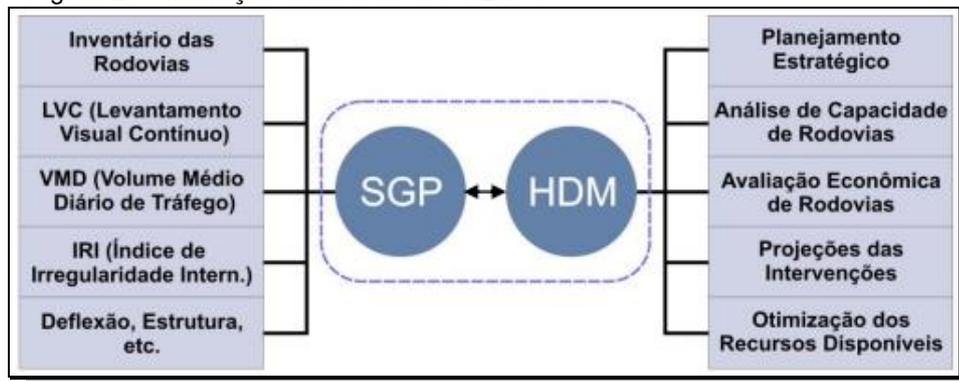
O software HDM-4 necessita de alguns dados de entrada para que possa avaliar e selecionar a melhor estratégia, sendo estes dados: a condição atual do pavimento (extensão, estrutura, volume de tráfego, defeitos, irregularidades, deflectometria, geometria da pista, condições climáticas, de topografia, idade do pavimento, idade da última restauração e outros dados), dados sobre o tipo de tráfego sobre o pavimento (tipos de veículos, peso, custos de aquisição e de manutenção, custo do combustível), as políticas de intervenção (tipo de manutenção ou restauração e custo) e os cenários de investimento. (FERNANDES, 2017, p.57).

De acordo com Becker (2008), na operação do HDM são utilizados alguns parâmetros, entre eles:

- **Taxa de Desconto:** É a taxa de oportunidade de capital do setor público, isto é, a taxa de retorno do investimento marginal. A taxa de desconto a ser usada para os estudos de viabilidade do HDM será definida pela autoridade de planejamento responsável pelo projeto e, normalmente, é utilizada para calcular o Valor Presente Líquido (VPL) dos custos e benefícios.
- **Valor Presente Líquido (VPL):** É a diferença entre os custos e os benefícios de um projeto.
- **Custo Econômico:** Representa os custos reais, sem taxas, impostos e leis sociais.
- **Custo Financeiro:** Representa os custos realmente desembolsados, incluindo as taxas, impostos e leis sociais.
- **Taxa Interna de Retorno (TIR):** É aquela em que o VPL é igual a zero.

O sistema avalia os dados e fornece resultados como o tipo de intervenção que deve ser executada em cada trecho, custo e época, dentro de um planejamento de investimentos. A figura abaixo ilustra a interação entre o SGP e o software HDM-4.

Figura 27 - Interação entre SGP e o HDM-4



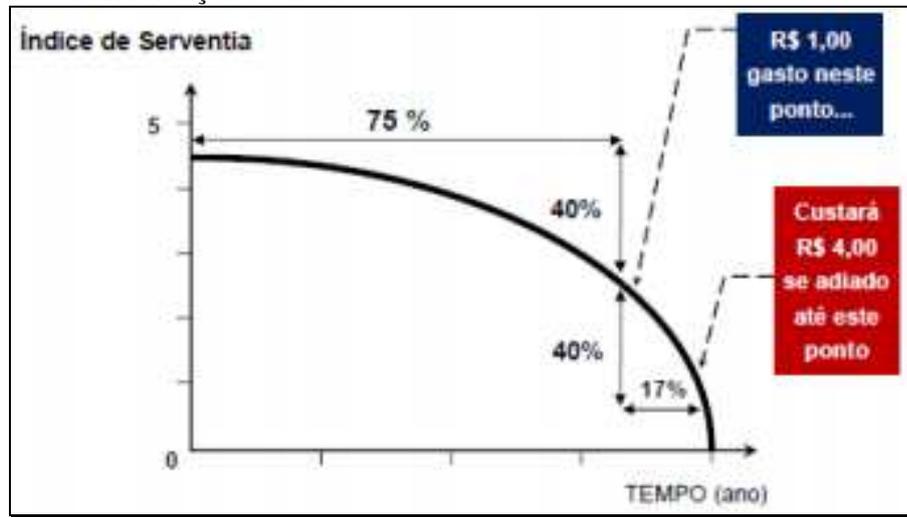
Fonte: Adaptada de DNIT (2011)

Segundo Fernandes (2017), este programa é de uso obrigatório para obtenção de investimentos do Banco Mundial.

5 MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS

Segundo o Fernandes Júnior, Oda e Zerbini (1999), as atividades de manutenção e reabilitação tem como objetivo corrigir os defeitos dos pavimentos, dessa forma assegurando uma economia nos investimentos para tal fim e propiciar aos usuários uma camada de rolamento confortável, segura e econômica. Na figura 28, é possível justificar como o atraso nas atividades de M&R pode prejudicar ainda mais a estrutura do pavimento, já que um pavimento tende a se deteriorar cada vez mais rápido a partir de certo tempo, com isso aumentando os custos da recuperação dessa estrutura tardiamente.

Figura 28 - Relação entre desempenho dos pavimentos, estratégia de M&R, data de intervenção e custos



Fonte: Adaptado FHWA (1989)

A manutenção de pavimentos é essencial para manter a estrutura nos padrões pré-estabelecidos, o que favorece uma preservação do ciclo de vida útil e uma condição de rolamento para usuário satisfatória. Portanto, segundo Fernandes (2017) a manutenção, quando feita de forma adequada e no momento certo, aumenta levemente o índice de serventia do pavimento, evita uma deterioração precoce e preserva a estimativa de vida útil do pavimento.

A reabilitação é aplicada para pavimentos que não passaram por atividades de manutenção por um longo período, seja esses de caráter corretivo ou preventivo, na maioria das vezes por negligência da administração, ou manutenções inadequadas ou insuficiente. A reabilitação trabalha na restauração do pavimento

quando encontrado em uma condição extrema de deterioração, prolongando assim sua vida útil, aumentando a serventia quase ao valor máximo e proporcionando novamente ao mesmo uma condição favorável de rolamento (FERNANDES, 2017).

Segundo Fernandes (2017), a manutenção pode ser dividida em preventiva e corretiva, sendo:

- **Manutenção preventiva:** São intervenções previamente aplicadas com o objetivo de evitar o surgimento ou agravamento de defeitos. A frequência dessa manutenção é relativa e depende do trânsito, topografia e clima. Tem como objetivo conter a deterioração em seu estágio inicial.
- **Manutenção corretiva:** é aplicada em vias com boa condição, mas que já apresentam defeito em seu estágio inicial, o que representa uma boa alternativa para aplicação de recursos. Como exemplo tem-se a selagem de trinca, e remendos superficiais.

Ainda segundo o mesmo autor, para a reabilitação, é sugerido que seja dividido em reforço e reconstrução, sendo:

- **Reforço:** atividade de reabilitação com elevado custo, porém essencial quando o grau de deterioramento está muito elevado comprometendo de forma direta a estrutura do pavimento.
- **Reconstrução:** consiste na remoção completa do pavimento e substituição por outro. Para que a reconstrução seja eficiente, é necessário que as características como geometria da via, drenagem, capacidade de tráfego e o próprio dimensionamento do pavimento seja revisto para evitar o comprometimento do novo desempenho.

5.1 Árvores de Decisão

Para decidir qual intervenção deve ser utilizada para manutenção, reabilitação e reconstrução existe uma série de métodos para auxiliar na tomada de decisão da melhor estratégia, sendo alguns deles (FERNANDES, 2017):

- **Método da Matriz** – que correlaciona um defeito específico com uma estratégia apropriada de M&R;

- **Árvore de Decisão** – são estudadas variáveis importantes para auxiliar na seleção de estratégias M&R;
- **Método do Custo do Ciclo de Vida** – que seleciona estratégias de M&R baseado nos custos do ciclo de vida de uma combinação de estratégia requerida em um período de análise (construção, manutenção, reabilitação etc);
- **Método de Otimização** – que relaciona a maximização dos benefícios aos usuários, a maximização do padrão de desempenho da rede e a minimização dos custos presentes totais.

Para o desenvolvimento do programa, Fernandes (2017) utilizou o método da árvore de decisão, já que o método da matriz não leva em consideração as características do defeito, como extensão e severidade, e o volume de tráfego. Por outro lado, o método do custo de ciclo de vida e método de otimização requer maior quantidade de dados e maiores investimentos.

Fernandes Júnior e Pantigoso (1998 apud ODA, 2016), propuseram uma árvore de decisão levando em consideração as características das manifestações patológicas do pavimento, como a extensão e severidade do defeito e o volume de tráfego da via. Sendo adotadas as seguintes atividades de manutenção e reabilitação:

- Não fazer nada;
- Capa selante;
- Lama asfáltica;
- Tratamento superficial;
- Selagem de trincas;
- Preenchimento de buracos;
- Remendo;
- Regularização;
- Drenagem;
- Reciclagem;
- Recapeamento;
- Reconstrução;
- Recomposição do acostamento;
- Aplicação de areia quente.

Os critérios para definição dos níveis de severidade, extensão e tráfego são indicados a seguir:

Figura 29 - Critérios para classificação dos fatores nas árvores de decisão

Severidade do defeito			
	1	2	3
Severidade	Baixa	Média	Alta

Extensão do defeito		
	1	2
Extensão do defeito	Pequena	Grande

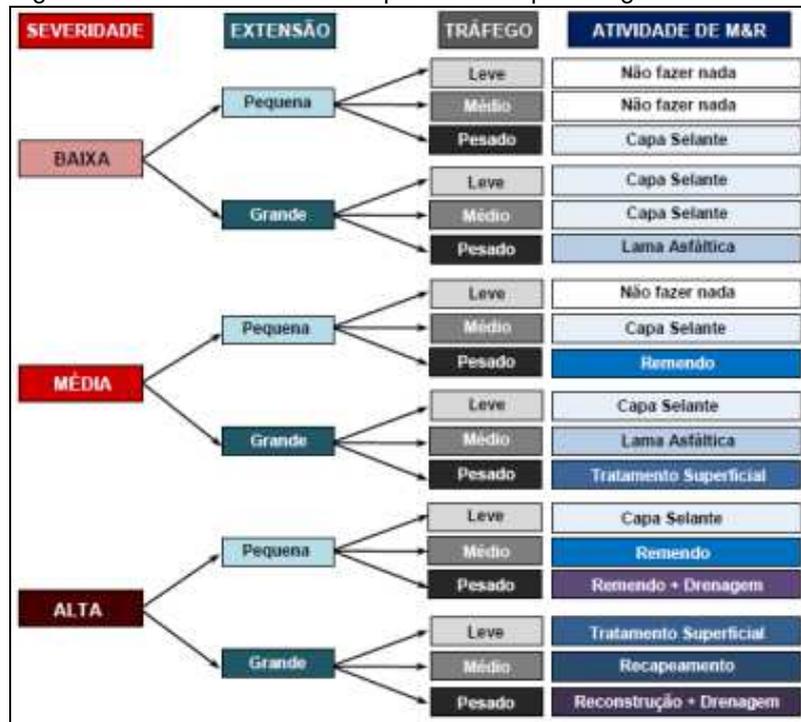
Tráfego (VDM)			
VDM (x1000)	1 - baixo	2 - médio	3 - pesado
Tráfego (VDM)	<1	1 - 5	>5

Fonte: Adaptado de Oda (2016)

A seguir, da figura 30 a 42 são apresentadas as árvores de decisões propostas divididas por cada tipo de defeito.

-Trincas por fadiga do revestimento:

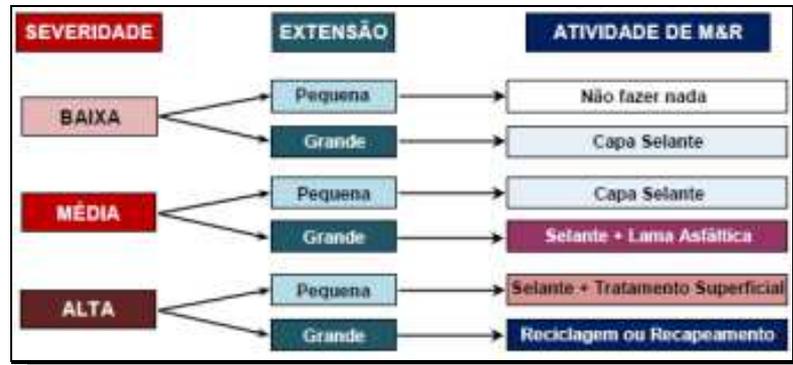
Figura 30 - Árvore de decisões para trincas por fadiga



Fonte: Adaptado de Oda (2016)

- Trincas em blocos

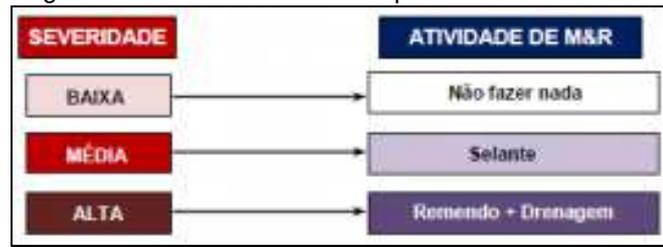
Figura 31 - Árvore de decisões para trincas em blocos



Fonte: Adaptado de Oda (2016)

- Trincas laterais

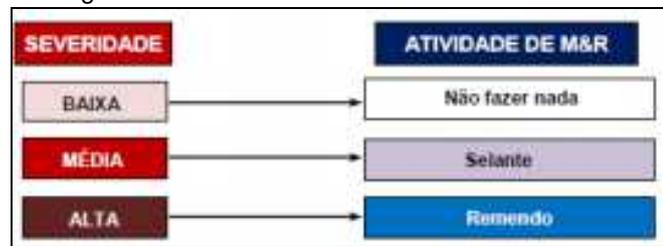
Figura 32 - Árvore de decisões para trincas laterais



Fonte: Adaptado de Oda (2016)

- Trincas longitudinais

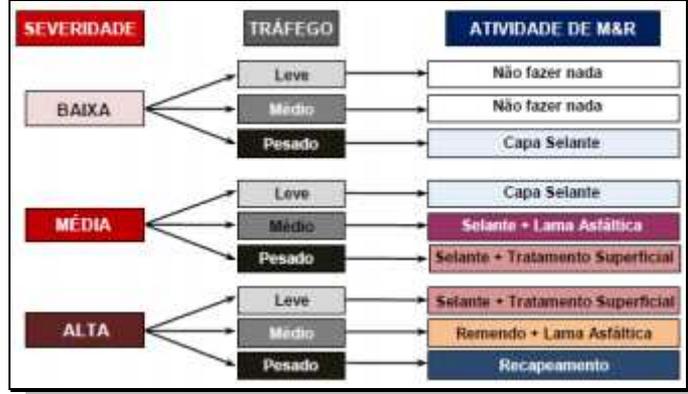
Figura 33 - Árvore de decisões para trincas longitudinais



Fonte: Adaptado de Oda (2016)

- Trincas por reflexão

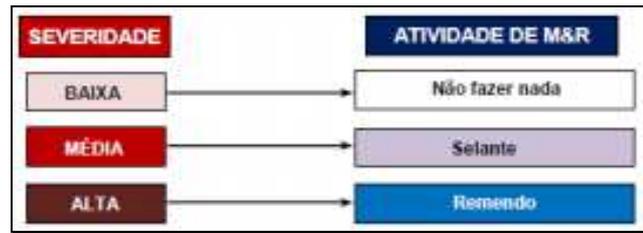
Figura 34 - Árvore de decisões para trincas por reflexão



Fonte: Adaptado de Oda (2016)

- Trincas transversais

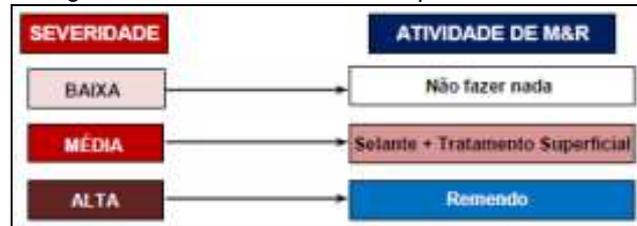
Figura 35 - Árvore de decisões para trincas transversais



Fonte: Adaptado de Oda (2016)

- Remendos

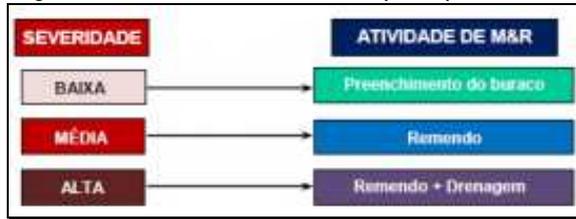
Figura 36 - Árvore de decisões para remendos



Fonte: Adaptado de Oda (2016)

- Panelas

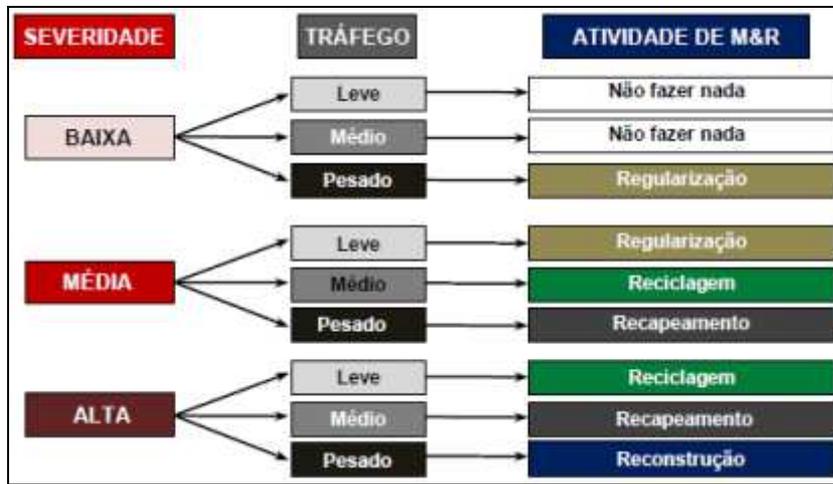
Figura 37 - Árvore de decisões para panelas



Fonte: Adaptado de Oda (2016)

- Deformações permanentes na trilha de roda

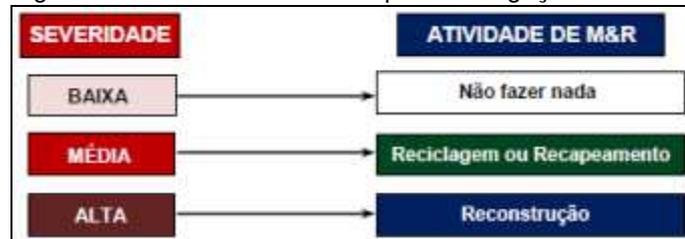
Figura 38 - Árvore de decisões para deformações permanentes na trilha de roda



Fonte: Adaptado de Oda (2016)

- Corrugação

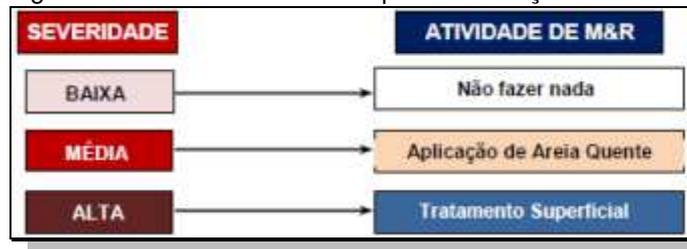
Figura 39 - Árvore de decisões para corrugação



Fonte: Adaptado de Oda (2016)

- Exsudação

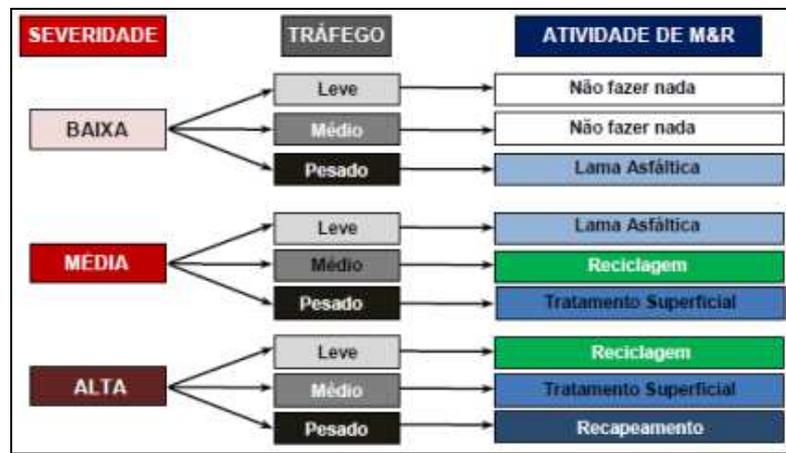
Figura 40 - Árvore de decisões para exsudação



Fonte: Adaptado de Oda (2016)

- Agregados polidos

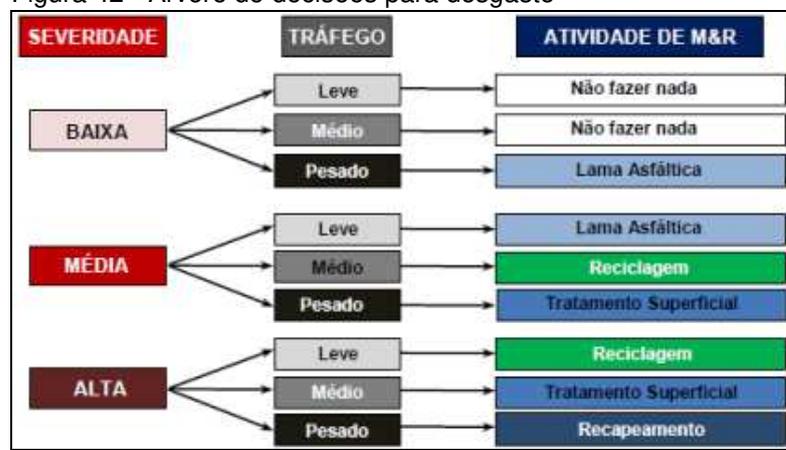
Figura 41 - Árvore de decisões para agregados polidos



Fonte: Adaptado de Oda (2016)

- Desgaste

Figura 42 - Árvore de decisões para desgaste



Fonte: Adaptado de Oda (2016)

- Desnível entre pista e acostamento

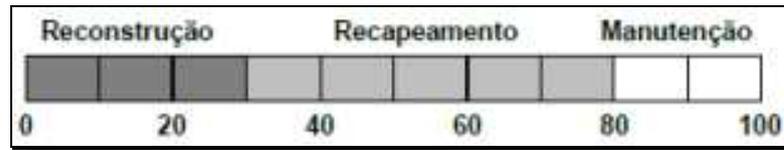
Recomposição do acostamento com material não erodível e boa capacidade de suporte.

- Bombeamento

Drenagem e capa selante, tratamento superficial ou recapeamento.

Essa árvore de decisão proposta por Fernandes Júnior e Pantigoso (1998) sugerem a melhor atividade para cada defeito de acordo com suas características (severidade, extensão e tráfego), mas tem como limitação o fato de que em cada trecho pode existir mais de um tipo de defeito, dessa forma não sendo a melhor estratégia as atividades sugeridas pela árvore de decisões e sim atividades mais abrangentes como reabilitação, recapeamento ou até mesmo reconstrução. Nesse sentido o Asphalt Institute (1981), definiu uma estratégia de manutenção e reabilitação com base no ICP, como observado a seguir:

Figura 43 - Estratégia de manutenção e reabilitação mais indicada com base no valor do ICP



Fonte: Asphalt Institute (1981)

Segundo Fernandes (2017), essa estratégia sugerida pelo *Asphalt Institute* em 1981 serve como uma boa base, mas possui pequena gama de opções, e com o desenvolvimento de novas técnicas de M&R, surgiram novas opções de atividades, com base nisso, Becker (2008), desenvolveu um plano estratégico de M&R relacionado com o ICP, mas com maior variedade de atividades, distribuídas em uma amplitude menor entre os intervalos do ICP, fornecendo as tabelas a seguir:

Tabela 13 - Estratégias com base nos valores d e ICP

ICP	Considerações	Opções
100 - 96	Nenhum defeito	1A
95 - 76	Nada	A
75 - 61	Valor normal/pequenos defeitos na superfície	A
	Preponderância de defeitos superficiais	B
60 - 51	Preponderância de defeitos superficiais	B
	Defeitos uniformemente distribuídos	C
50 - 41	Preponderância de defeitos estruturais ou muita irregularidade (PSI < 2.0)	D
	Realativamente suave (PSI > 2.5)	C
40 - 26	Irregular (PSI < 2.5)	D
	Suave a irregular (PSI > 2.0)	D
25 - 0	Muito irregular (PSI < 2.0)	E
	Nada	E

Fonte: Adaptado de Becker (2008)

Tabela 14 - Estratégia e intervenções

	Estratégia	Intervenções
1A	Não fazer nada	Nenhuma
A	Manutenção de rotina	Tapa-buracos
B	Manutenção preventiva	Tapa-buracos, microrevestimento
C	Ação emergencial	Remendos grandes, tapa-buracos, afundamento de trilha de roda
D	Reabilitação	Fresagem da superfície, recobrimento da superfície
E	Reconstrução	Remoção e substituição da estrutura do pavimento

Fonte: Adaptado de Becker (2008)

Vale ressaltar que as intervenções podem sofrer alterações de acordo com as características da malha viária em análise, e que as espessuras de fresagem e das camadas da reconstrução devem ser calculadas de acordo com solicitações calculadas para o trecho (FERNANDES, 2017).

6 DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

O software utilizado nesse trabalho foi desenvolvido por Fernandes (2017), que disponibilizou o programa de forma gratuita. O SGP sofreu alterações em parâmetros relacionados a ocorrência de alguns defeitos, tais como remendos e panelas, e houve a implantação da opção de gerar uma composição geral de custo das intervenções.

6.1 Características

Segundo Fernandes (2017) o principal objetivo do software é ser uma ferramenta para auxiliar na tomada de decisões na gerencia de pavimento, com foco nas atividades de manutenção e reabilitação. O software foi desenvolvido como um sistema de gestão de pavimentos para atender cidades de pequeno à médio porte, que até então não possuíam nenhum controle sobre as atividades de manutenção, efetuando essas atividades de maneira equivocada e sem fundamentos técnicos, desperdiçando os recursos já escassos para tal fim.

Ainda segundo Fernandes (2017), na maioria das vezes, cidades de pequeno à médio porte não possuem informações importantes sobre a malha viária, como um histórico do pavimento e até mesmo o projeto original da estrutura. Outro ponto negativo é o baixo orçamento para recursos destinados à gerência de pavimento, o que prejudica um levantamento atualizado do estado de condição do pavimento, principalmente a análise da condição estrutural, que necessita de equipamentos específicos e ensaios que possuem um custo elevado.

O software foi desenvolvido de forma enxuta e de fácil entendimento, necessitando apenas de uma análise do pavimento que não requer grande alocação de recurso. Dessa forma, facilitando a implantação de um modelo sério de gestão de pavimento em locais onde se predominavam a execução de atividades baseadas em achismos e decisões infundadas. Foram utilizados modelos e métodos que mais se adequaram e adaptaram ao ambiente, mesmo sendo os mais simples, são muito utilizados mundo a fora e produzem resultados satisfatórios e compatíveis com modelos mais modernos, mas que exigiriam o gasto de grandes recursos, proporcionando assim uma solução confiável e de baixo custo (FERNANDES, 2017).

6.2 Linguagem

O programa foi desenvolvido no VBA (*Visual Basic for Applications*), que é uma ferramenta da Microsoft para programação e incorporada ao pacote Office (Excel, PowerPoint, Word etc.), sendo uma linguagem de programação com muitas funcionalidades e bem flexível (FERNANDES, 2017).

Essa linguagem, quando trabalhando em conjunto com o Excel, possui recursos para agilizar e automatizar o processamento de planilhas, navegação entre as mesmas, buscas mais detalhadas, permitindo dessa forma que pastas e planilhas sejam gerenciadas de forma mais racional. Para este trabalho, ela permitirá automatizar processos repetitivos, como por exemplo, a análise dos diversos trechos de uma malha viária com o cálculo dos diversos parâmetros que são necessários para um sistema de gerenciamento de pavimento (FERNANDES, 2017).

Outro motivo que influenciou na escolha do Excel para o desenvolvimento deste software, é o fato de ser uma das principais ferramentas do mercado para armazenamento e organização de informações, servindo em muitos lugares como banco de dados, sendo um programa de fácil entendimento e utilização, além de ser de fácil acesso para empresas e órgãos públicos (FERNANDES, 2017).

6.3 Mapeamento da Árvore de Processo e Desenvolvimento do Algoritmo

O programa terá como primeira entrada de dados, as informações acerca da rede viária onde se implementará o sistema de gerência de pavimentos, com informações gerais, como a extensão total, número de vias (com seus respectivos nomes), número de faixas de tráfego, largura das faixas, extensão e volume médio diário de tráfego, e uma nomeação para os sentidos das vias. A rede viária será dividida em subtrecho homogêneos, neste caso sendo feita a divisão por vias. (FERNANDES, 2017, p. 81).

A partir desses dados iniciais, as vias serão divididas em subtrecho em extensão definida pelo usuário, mas como valor default de 200 metros. O programa gerará então planilha para cada trecho, que serão preenchidas pelo usuário com informações sobre a condição do pavimento. Serão adicionados os Valores de Serventia Atual (VSA) de cada trecho e o levantamento dos defeitos do pavimento, que usará a metodologia SHRP, e um esquema de localização dos defeitos (FERNANDES, 2017).

Após o preenchimento com as informações relativas à avaliação dos pavimentos, o programa lerá todos os dados, e calculará para cada subtrecho seu respectivo índice combinado de defeitos, que para este software será utilizado o Índice de Condições do Pavimento (ICP), onde cada defeito será avaliado quanto a sua extensão e severidade, além do número de ocorrências em determinados defeitos (FERNANDES, 2017).

Com os índices de condição dos pavimentos já calculados, é gerado então um Índice de Prioridade (IP) para cada subtrecho, utilizando o método de Tavakoli. Então o programa ordenará cada subtrecho por ordem de prioridade, indicando o valor do índice de prioridade e seu índice de condição do pavimento (FERNANDES, 2017).

Com os IP e ICP calculados é estabelecido a melhor estratégia de M&R para cada subtrecho, utilizando tabela de Tavakoli (1992 apud BECKER, 2008) segundo os respectivos valores do ICP de cada subtrecho. A última análise a ser feita, é a análise econômica a partir das intervenções específicas de cada subtrecho para cada defeito (FERNANDES, 2017). Seguindo a árvore de decisões propostas por Fernandes Júnior e Pantigoso (1997), que indica que atividade de manutenção e reabilitação deve ser realizada para cada defeito quanto a severidade e extensão, duas novas tabelas são criadas, sendo a primeira a indicação de qual intervenção deve ser executada para cada defeito e sua respectiva severidade, mostrando também sua extensão e o custo para executá-la por subtrecho. A segunda tabela é uma composição de custo geral de cada atividade de M&R, auxiliando assim o usuário na definição do custo da manutenção da via como um todo.

6.4 Obtenção de Fonte dos Preços

Para a obtenção de preços das atividades de manutenção e reabilitação para compor o banco de dados, foi utilizado o SICRO (Jan, 2017), tabela disponibilizada pelo DNIT, para a consulta de preços.

6.5 Criação do Banco de Dados

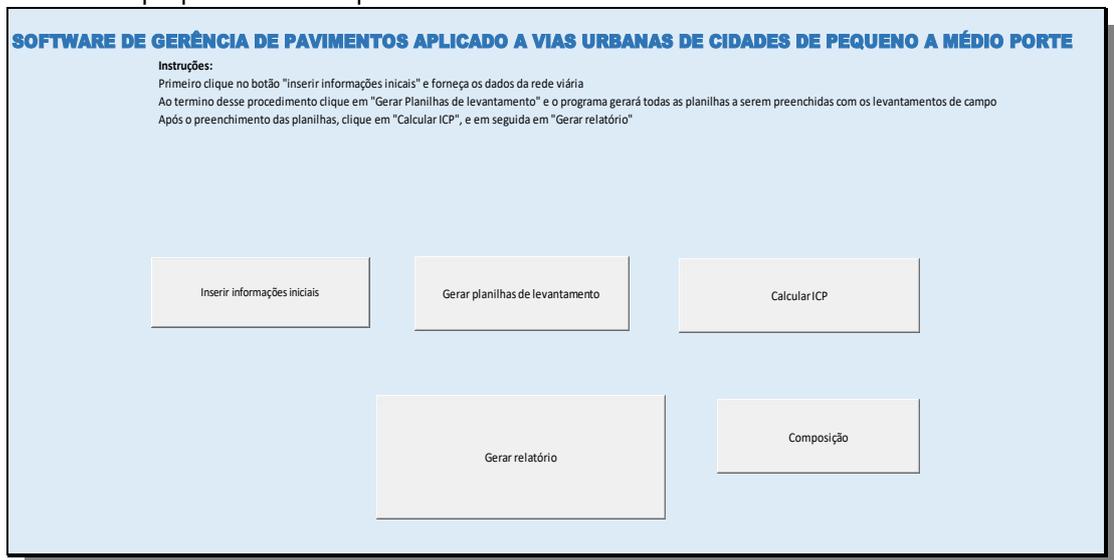
A criação e alimentação do banco de dados são realizadas de forma simples e intuitiva pelo usuário, que seguindo as instruções de uso, fornece todas as

informações para o bom funcionamento do programa. Após inserir informações ao programa, esses dados ficarão salvos para qualquer consulta posterior (FERNANDES, 2017).

6.6 Desenvolvimento da Interface Gráfica

O programa possui interface simples, com apenas 5 botões na tela principal. Sendo o primeiro botão para inserir informações iniciais sobre a malha viária, o segundo gera as planilhas de levantamento de defeitos a serem alimentadas, elas já estarão divididas em seções, faixas e sentidos da via. O terceiro botão, após ser pressionado, faz com que o programa calcule o ICP e IP, e o último botão gera o relatório final, com as seções dispostas em ordem maior prioridade para a menor prioridade, com o ICP de cada seção e as atividades de M&R recomendadas. O último botão gerará um relatório com a composição de custo geral para cada atividade realizada e descrita pelo relatório final.

Figura 44 - Interface do software de gerência de pavimentos aplicado a vias urbanas de cidades de pequeno a médio porte



Fonte: Adaptado de Fernandes (2017)

Na tela principal existem instruções para orientar usuários e garantir um funcionamento eficiente do programa.

7 METODOLOGIA

Para complementar e aperfeiçoar o software de gerenciamento de pavimento desenvolvido por Fernandes (2017), empregou-se uma metodologia composta pelas seguintes etapas:

- Revisão Bibliográfica
- Adaptação e aprimoramento do software
- Aplicação do Software em um trecho interno do campus da UEMA
- Apresentação dos resultados gerados pelo programa.

A primeira etapa, de revisão bibliográfica, consiste nos capítulos 2, 3, 4 e 5, onde são abordadas uma visão geral sobre pavimento, os defeitos que nele ocorrem e quais as intervenções, um histórico sobre Sistema de Gerenciamento de Pavimento, os métodos e modelos utilizados no levantamento do desempenho da estrutura do pavimento para um SGP.

Na segunda etapa, que consta no capítulo 6, fica descrito como se procedeu o desenvolvimento do software por Fernandes (2017), a linguagem de programação utilizada e a estruturação do mesmo.

Na terceira etapa, que consta nos itens seguintes, é o estudo de caso, onde se apresenta a localização e as características do local onde foi realizado a aplicação do software, como foi realizado os levantamentos em campo necessários para o funcionamento do programa e os resultados obtidos.

Na última etapa, no capítulo 8, são feitas considerações finais sobre o software desenvolvido e dadas sugestões para implementação de novas funções ao programa.

7.1 Estudo de Caso

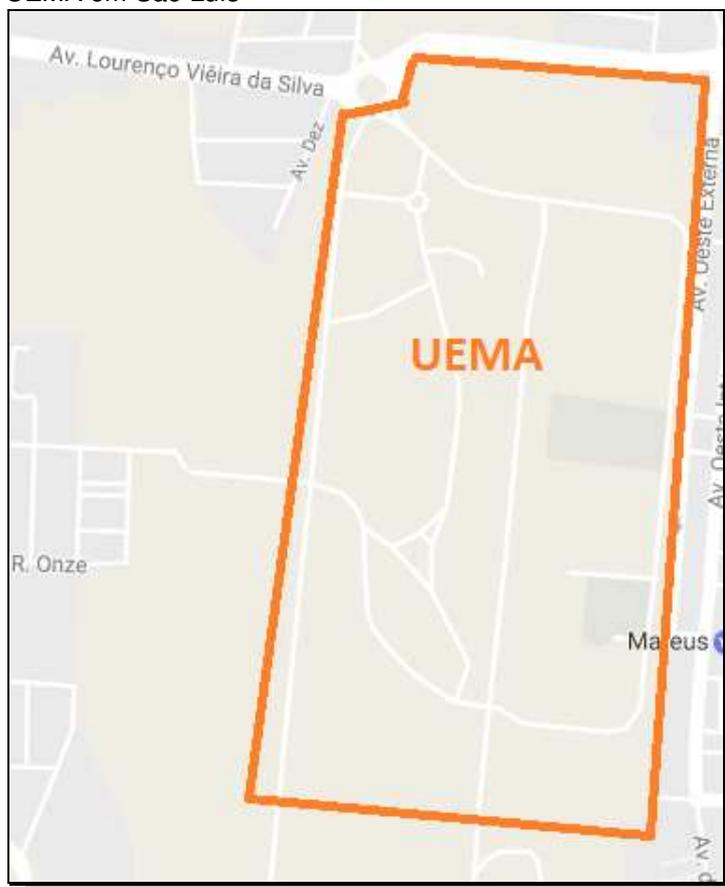
A região escolhida para o estudo de caso, onde será feita a aplicação do software em caráter experimental, é a Cidade Universitária Paulo VI, campus da Universidade Estadual do Maranhão em São Luís, localizada no Estado do Maranhão, região nordeste do Brasil.

7.2 Localização e Características

O campus fica localizado no bairro do Tirirical, com uma área total de aproximadamente 145 ha. Possui duas formas de acesso, a entrada principal pela avenida Lourenço Vieira da Silva e uma entrada secundária pela estrada do horto.

Atualmente o campus está passando por obras de reestruturação viária que contempla em: recapeamento na maior parte de suas vias; construção de uma estrutura em pavimento rígido construída no ponto final do ônibus do campus; e a construção de novas vias dentro do campus, facilitando o deslocamento de funcionários e estudantes entre os prédios da universidade. As maiores cargas aplicadas ao pavimento das vias do campus são derivadas dos ônibus que ali circulam, mas em um trecho limitado apenas, não afetando a maioria das outras ruas, que possuem apenas tráfego de carros pequenos. A figura 45 apresenta a área da UEMA delimitada em um mapa.

Figura 45 - Localização e área delimitada do campus da UEMA em São Luís



Fonte: Adaptado do Google Maps

Segundo informação da prefeitura do campus, a malha viária terá cerca de 7,15km de vias internas, após finalizarem as obras em andamento.

7.3 Levantamento de Dados

O levantamento de dados foi realizado com o auxílio dos alunos André Aquino e Gabriel Borges, estudantes de engenharia civil da UEMA. Os dados levantados consistem na avaliação de defeitos de campos e a análise do valor de serventia atual da via. As tabelas utilizadas estão expostas nos anexos A e B. Para o VDM, foi utilizado um valor fictício, mas não muito distante da realidade.

Vale ressaltar que os dados foram levantados por alunos, não capacitados como profissionais da área e que diferentes seções foram feitas por diferentes alunos, mas como o estudo de caso se trata de testar o software, o resultado continuará sendo satisfatório para o seu propósito.

7.4 Aplicação do Programa

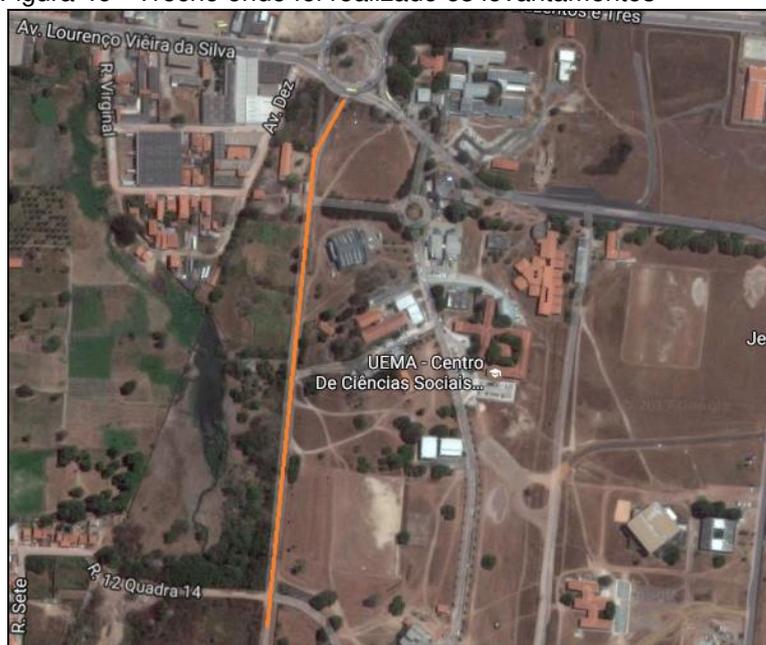
Para o teste inicial do programa, foi escolhido um trecho de 600 metros da estrada do Horto, a partir do portão que se encontra na avenida Lourenço Vieira da Silva. Este trecho foi escolhido por estar visivelmente degradado, e possuir um tráfego externo, de veículos que procuram cortar caminho entre o bairro Santa Barbara e São Cristóvão.

Como o estudo de caso será realizado em uma das vias do campus, o valor de VDM será considerado igual em todos os subtrechos e o fator de tráfego do modelo de priorização não influenciará no índice de prioridade, porém em uma aplicação em um maior número de vias, que conseqüentemente terão valores de VDM diferentes esse fator influenciara normalmente.

Vale ressaltar que os valores de VDM são números derivados de suposições, já que por falta de tempo hábil e falta de dados da própria prefeitura, não foi possível coletar dados reais. Mas como já explicado no parágrafo anterior, esses valores não afetarão a aplicação do programa, servindo então como exemplo de funcionamento.

Nas figuras 46, 47 e 48 apresenta-se o trecho escolhido para o estudo e as respectivas seções analisadas. Na figura 49, observa-se levantamento objetivo de defeitos sendo realizado.

Figura 46 - Trecho onde foi realizado os levantamentos



Fonte: Adaptado do Google Maps

Figura 47 - Alunos realizando levantamento de defeitos



Fonte: Autor (2017)

Figura 48 - Localização das seções de teste



Fonte: Adaptado de Google Maps (2017)

Figura 49 - Localização das seções de teste



Fonte: Adaptado de Google Maps (2017)

Na figura 50 tem-se a tela de cadastro de via, onde são fornecidas as informações gerais sobre a mesma, como nome, número de sentidos da via, largura da faixa, volume médio diário de tráfego e tipo de via. Assim como informações sobre as faixas para cada sentido, como uma referência de sentido, número de faixas, extensão da faixa e número de seções para análise.

Figura 50 - Tela de cadastramento de via

Nome da via Número de sentidos da via

Largura das faixas (m) Volume médio diário de tráfego Tipo da via:

Sentido 1

Referência do sentido Nº de faixas Extensão da faixa (m)

Numero de seções

Sentido 2

Referência do sentido Nº de faixas Extensão da faixa (m)

Numero de seções

Fonte: Autor (2017)

Em relação à figura 51, é apresentada a tabela preenchida com os valores do levantamento objetivo de defeito e o valor de serventia atual para a determinada seção. O apêndice A apresenta uma ficha de levantamento preenchida referente à estaca 80-100 metros da seção 2. O valor de serventia atual apresentado na figura 51 foi calculado com base no apêndice B, onde foi calculada a média entre as 3 análises realizadas.

Na figura 52, o programa apresenta um relatório final para a via analisada, colocando em ordem de prioridade cada seção em relação com seu ICP e IP. Lembrando que o IP foi calculado pelo método de Tavakoli, já apresentado no item

4.9.1. O relatório também apresenta considerações e atividades de M&R sugeridas seguindo o que foi disposto nas tabelas 13 e 14.

Figura 51 - Exemplo de tabela de levantamento de defeitos preenchida

Seção:	2	Faixa:		1	Largura:			3,25	VSA:		2,35	VDM:	
	Início	+0	+20	+40	+60	+80	+100	+120	+140	+160	+180		
	Fim	+20	+40	+60	+80	+100	+120	+140	+160	+180	+200		
Trincas por fadiga	Baixa	45	2	15	6	10		1	1	18	20	0,907692	
	Média			2						0,5		0,038462	
	Alta											0	
Trincas em blocos	Baixa											0	
	Média											0	
	Alta											0	
Trincas nos bordos	Baixa											0	
	Média											0	
	Alta											0	
Trincas longitudinais nas	Baixa											0	
	Média									1	6	0,116667	
	Alta											0	
Trincas longitudinais foras	Baixa	8				12						0,166667	
	Média											0	
	Alta											0	
Trincas por reflexão	Baixa											0	
	Média											0	
	Alta											0	
Trincas por reflexão	Baixa											0	
	Média											0	
	Alta											0	
Trincas transversais (m)	Baixa											0	
	Média											0	
	Alta											0	
Remendos (m²)	Baixa	40	48	3	30	6	54,6					0,931282	
	Média			15	21	15		20	20	20		1,138462	
	Alta											0	
Panelas (m²)	Baixa		10			0,4			0,2			0,081538	
	Média	5	4	0,36	6	8	2,55	1	1	0,6	0,64	0,448462	
	Alta					1,2		2,95				0,095769	
Deformação permanente	Baixa											0	
	Média											0	
	Alta											0	
Corrugação (m²)	Baixa								2			0,005128	
	Média											0	
	Alta											0	
Exsudação (m²)	Baixa											0	
	Média											0	
	Alta											0	
Agregados polidos (m²)	Baixa											0	
	Média											0	
	Alta											0	
Desgaste (m²)	Baixa											0	
	Média											0	
	Alta											0	
Bombeamento (m)	Baixa											0	
	Média											0	
	Alta											0	
ICP													60,69872

Fonte: Autor (2017)

Figura 52 - Relatório final gerado pelo programa

Via	Seção	Faixa	ICP	Estratégia	IP	Considerações	Atividades de M&R
Uema Teste 2 - Sentido1	2	1	60,69871795	B	0,543668814	Preponderancia de defeitos superficiais	Tapa-buracos; microrevestimento
Uema Teste 2 - Sentido2	2	1	66,00320513	B	0,49997572	Preponderancia de defeitos superficiais	Tapa-buracos; microrevestimento
Uema Teste 2 - Sentido2	3	1	69,13769231	B	0,477308381	Preponderancia de defeitos superficiais	Tapa-buracos; microrevestimento
Uema Teste 2 - Sentido2	1	1	72,65730769	B	0,454186937	Preponderancia de defeitos superficiais	Tapa-buracos; microrevestimento
Uema Teste 2 - Sentido1	3	1	74,71346154	B	0,441687473	Preponderancia de defeitos superficiais	Tapa-buracos; microrevestimento
Uema Teste 2 - Sentido1	1	1	75,43923077	A	0,291625455	Pequenos defeitos na superficie	Tapa-buracos

Fonte: Autor (2017)

A figura 53 apresenta a planilha onde foi calculado o custo de cada intervenção referente às tabelas de levantamento de defeitos já preenchidas. O cálculo é o somatório das áreas de cada defeito relacionado com sua severidade, multiplicado pelo custo de execução da atividade de intervenção proposto.

Figura 53 - Exemplo de tabela de cálculo entre área do defeito e preço de sua respectiva intervenção

Tipo de deformidade	Severidade	Tipo de intervenção	1	2	3	1*	2*	3*	Totais
Trincas por fadiga (m ²)	Baixa	Selagem	383	129	48	R\$ 298,74	R\$ 100,39	R\$ 37,52	R\$ 436,64
	Média	Selagem	0	7	16	R\$ -	R\$ 5,46	R\$ 12,40	R\$ 17,86
	Alta	Recapeamento	0	1	0	R\$ -	R\$ 108,00	R\$ -	R\$ 108,00
Trincas em blocos (m ²)	Baixa	Selagem	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Média	Selagem	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Alta	Recapeamento	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Trincas nos bordos (m)	Baixa	Não fazer nada	14	0	9	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Média	Selagem	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Alta	Remendos	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Trincas longitudinais nas trilhas de rodas (m)	Baixa	Não fazer nada	14	0	12	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Média	Selagem	0	7	0	R\$ -	R\$ 5,46	R\$ -	R\$ 5,46
	Alta	Remendos	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Trincas longitudinais fora das trilhas de rodas (m)	Baixa	Não fazer nada	3	30	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Média	Selagem	0	0	9	R\$ -	R\$ -	R\$ 7,02	R\$ 7,02
	Alta	Remendos	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Trincas por reflexão longitudinais (m)	Baixa	Não fazer nada	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Média	Selagem	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Alta	Remendos	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Trincas por reflexão transversais (m)	Baixa	Não fazer nada	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Média	Selagem	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Alta	Remendos	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Trincas transversais (m)	Baixa	Não fazer nada	2	0	7	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Média	Selagem	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Alta	Remendos	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Remendos (m ²)	Baixa	Não fazer nada	229	579	575	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Média	Selagem	1	111	0	R\$ 0,62	R\$ 86,58	R\$ -	R\$ 87,20
	Alta	Remendos	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Painéis (m ²)	Baixa	Tapa-buracos	28	67	68	R\$ 7.996,40	R\$ 19.199,34	R\$ 19.273,52	R\$ 46.469,26
	Média	Remendos	32	70	56	R\$ 9.215,80	R\$ 19.965,17	R\$ 15.995,07	R\$ 45.176,04
	Alta	Remendos	0	6	10	R\$ -	R\$ 1.762,90	R\$ 2.938,16	R\$ 4.701,06
Deformação permanente na trilha das rodas (%extensão)	Baixa	Não fazer nada	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Média	Regularização	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Alta	Recapeamento	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Corrugação (m ²)	Baixa	Não fazer nada	27	2	10	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Média	Recapeamento	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Alta	Reconstrução	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Exsudação (m ²)	Baixa	Não fazer nada	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Média	AAUQ	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Alta	Tratamento Superficial	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Agregados polidos (m ²)	Baixa	Não fazer nada	0	0	10	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Média	Lama Asfáltica	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Alta	Recapeamento	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Desgaste (m ²)	Baixa	Não fazer nada	0	0	3	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Média	Lama Asfáltica	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Alta	Reciclagem	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Bombeamento (m)	Baixa	Selagem	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Média	Selagem	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Alta	Recapeamento	0	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
			734	1008	832	R\$ 17.511,56	R\$ 41.233,30	R\$ 38.263,69	

Fonte: Autor (2017)

Por fim o programa emite um relatório de custo da obra (Figura 54), tendo como referência as soluções adotadas para as intervenções de cada trecho. Vale ressaltar que o banco de dados com os custos de cada intervenção deve ser realimentado com valores atualizados levando em conta as concepções e parâmetros de projeto de cada intervenção. Na figura 53, apresenta custos referentes apenas a execução do serviço, baseado no SICRO/2017. Para o custo total da obra, deve ser feita a composição de preço de cada item levando em conta o transporte e materiais utilizados.

Figura 54 - Tabela com custos para cada intervenção baseada no relatório final

Tipo de intervenção	Custo Por Intervenção
Selagem	R\$ 554,19
Reconstrução	R\$ -
Recapeamento	R\$ 108,00
Tapa-buracos	R\$ 46.469,26
Reciclagem	R\$ -
AAUQ	R\$ -
Lama Asphaltica	R\$ -
Tratamento Superficial	R\$ -
Regularização	R\$ -
Micro revestimento	R\$ -
Remendos	R\$ 49.877,10
Custo Total=	R\$ 97.008,55

Fonte: Autor (2017)

8 CONSIDERAÇÕES FINAS E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Em conclusão, o programa entregou resultados satisfatórios para as condições em que foi aplicado como um sistema de gerenciamento de pavimentos, porém o mesmo pode ser aplicado em malhas viárias com maior extensão e que não utilizam esse tipo de abordagem para administrá-las ou utilizam métodos ultrapassados e inadequados.

Vale ressaltar que o programa foi desenvolvido por Fernandes (2017) e aperfeiçoado neste trabalho, portanto todo o desenvolvimento e aperfeiçoamento ficaram por parte de estudantes de graduação, sem nenhum auxílio de especialistas em programação ou consultoria de desenvolvedores e aporte financeiro. Portanto, o programa possui suas limitações como a utilização de modelos mais simples, o que não impede, como já observado, que ele tenha um bom funcionamento e entregue resultados confiáveis.

Como sugestão para aprimoramento futuro do programa, é necessário a inclusão de modelos mais complexos para análise do pavimento, assim como a implementação de um módulo de análise dinâmica dos defeitos do pavimento, o que permitiria a utilização de modelos de priorização mais atuais e avançados que levam muito mais fatores em consideração. Seria uma boa melhoria a inserção de um módulo onde o usuário poderia fazer um planejamento financeiro anual ou plurianual, diferente do proposto no programa que lhe entrega uma composição de custo da situação imediata da via, pois junto com modelos de desempenho mais avançados permitiria uma análise de priorização mais eficiente, aproveitando da melhor forma possível os recursos disponíveis para as intervenções.

Outra sugestão para trabalhos futuros com o software, é a integração com mapas digitais georreferenciados, através do uso de sistemas de informação geográfica (GIS), que é uma tecnologia que vem se desenvolvendo rapidamente e está se difundindo rapidamente no meio da engenharia civil, principalmente relacionada à área de transporte e urbana. O programa trabalhando com esse sistema possibilitaria ao usuário acessar em tempo real, no mapa, os defeitos e analisá-los por imagens transmitidas diretamente pelos drones. Sendo que, com a utilização dos drones, seria possível fazer levantamentos das condições do pavimento sem estar fisicamente na via, e de forma mais rápida analisar um grande número de trechos.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F. S. **Sistema de gerência de pavimentos para departamentos de estradas do Nordeste brasileiro**. 303p. Porto Alegre: PPGE/UFGRS, 2007. Tese [Doutorado em Engenharia Civil]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17735/000637043.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 mar. 2017
- ASPHALT INSTITUTE. A Pavement Rating System for Low-Volume Asphalt Roads. Information Series No. 169 (IS-169), Lexington, KY, 1981.
- BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- BERNUCCI, L. B; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação asfáltica – Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, RJ: Petrobras/Abeda, 2007.
- BECKER, V. E. G. **Aplicação do Modelo de Tavakoli para gerência de manutenção de pavimentos em cidade de médio porte**. Monografia [Graduação em Engenharia Civil]. Universidade de Passo Fundo, 2008.
- CIA. World FactBook – Brasil. Central Intelligence Agency. USA. Disponível em: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/br.html>. Acesso em: 15 Jan. 2017.
- CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Boletim estatístico em março de 2015**. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Boletim/boletim-estatistico-cnt>>. Acesso em: 10 de Janeiro de 2017
- DANIELESKI, M. L. **Proposta de metodologia para avaliação superficial de pavimentos urbanos: aplicação à rede viária de Porto Alegre: Dissertação [Mestrado Profissionalizante em Engenharia]**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- DER/SP. Departamento de Estradas de Rodagem, São Paulo. **Projeto de Pavimentação**. 2006a. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/IP-DE-P00-001_A.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2017
- _____. Departamento de Estradas de Rodagem, São Paulo. **Avaliação funcional e estrutural de pavimento**. 2006b. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/IP-DE-P00-003_A.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2017
- DNER. Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. Rio de Janeiro, 1998

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos** – Terminologia. Norma 005, 2003a. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/terminologia-ter/dnit005_2003_ter.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2017.

_____. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos** – Procedimento. Norma 006, 2003b. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/procedimento-pro/dnit006_2003_pro.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2017.

_____. **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos** - Procedimento. Norma 009/2003 – PRO. 2003.

_____. Manual de pavimentos rígidos. Publicação IPR-714. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2005.

_____. **Manual de pavimentação**. 2006a.

_____. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Publicação IPR-720, 2006b.

_____. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. **Terminologias rodoviárias usualmente utilizadas**. Versão 1.1, 2007. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/rodovias-federais/terminologias-rodoviaras/terminologias-rodoviaras-versao-11.1.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2017.

_____. **Manual de Gerência de Pavimentos**. Publicação IPR 745, 2011.

_____. **Sistema de custos referenciais de obras - SICRO**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro/nordeste/nordeste>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

FERNANDES. F. M. L. da S. **Software de gerenciamento de pavimentos aplicado a vias urbanas de cidades de pequeno a médio porte**. Monografia [Graduação em Engenharia Civil]. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

FERNANDES JÚNIOR, J. L.; ODA, S.; ZERBINI, L. F. **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos**. Apostila Didática. Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1999.

FERNANDES JÚNIOR, J. L.; PANTIGOSO, J. F. G. Compatibilização da gerência de pavimentos urbanos com as concessionárias de serviços públicos com o uso de SIG. In: **XI ANPET** – Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. Rio de Janeiro, 1997.

FHWA. Federal Highway Administration. Road Surface Management for Local Governments. Course Workbook. U. S. Department of Transportation. Austin, Texas, dec. 1989.

HAAS, R.; HUDSON, W. R.; FALLS, L. C. Pavement Asset Management..
© 2015 Scrivener Publishing LLC (Beverly, MA). Published 2015 by John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ

HAAS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. P. Modern Pavement Management.:
Malabar, FL. Krieger Pub. Co., 1994.

MAPC = Metropolitan Area Planning Council. Pavement Management - A Manual for
Communities. US Department. 1986.

ODA, S. Notas de Aula. Disciplina EER 555 Pavimentação B. Departamento de
Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio
de Janeiro – UFRJ, 2016.

RAMOS, D.; SESTINI, V. M.; ARAÚJO, M. dos R.; PRIETO, V.; SUZUKI, C. Y.;
PREUSSLER, E. S.; VALE, A. F.; PEREIRA, A. C. O.; SANTOS, C. R. G. Sistema de
Gerência de Pavimentos do DER-SP: Desenvolvimento e Implantação. **V Jornadas
Luso-Brasileiras de Pavimentos: Políticas e Tecnologias**. Recife, 2006.

SENÇO, W. de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: Pini, 1997.

SHOJI, E. S. **Desenvolvimento de um Programa de Sistema de Gerência de
Pavimentos Urbanos para Cidades Brasileiras de Médio Porte**. Dissertação
[Mestrado em Engenharia Civil]. USP, São Carlos, 2000.

SHRP. Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance
Studies. The Strategic Highway Research Program. National Academy of
Science. Washington, D. C., 1993.

SOUZA, P. M de. **Proposta de implementação de um sistema de gerência de
pavimentos para a cidade do Rio de Janeiro**. Monografia [Graduação em
Engenharia Civil]. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

VISCONTI, T. S. **O sistema gerencial de pavimentos do DNER**. Departamento
Nacional de Estradas e Rodagem, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Divisão de
Apoio Tecnológico, Brasil, 84 p, 2000.

APÊNDICES

APENDICE A - Planilha de levantamento de defeitos

PLANILHA 1

LEVANTAMENTO DE DEFEITOS NO CAMPO

IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO: 15 - Seção 2 - 80 → 100 m

DATA DO LEVANTAMENTO (DIA/MÊS/ANO): 16 / 06 / 2017

TÉCNICOS: Lucas, André, Gabriel

TIPO DE DEFEITO	NÍVEL DE SEVERIDADE		
	BAIXA	MÉDIA	ALTA
1. TRINCAS POR FADIGA (m ²)	<u>10.</u>	---	---
2. TRINCAS EM BLOCOS (m ²)	---	---	---
3. TRINCAS NOS BORDOS (m)	---	---	---
4. TRINCAS LONGITUDINAIS (m)			
4a - Nas Trilhas de Roda			
Selagem (m)	---	---	---
4b - Fora das Trilhas de Roda			
Selagem (m)	<u>12.</u>	---	---
5. TRINCAS POR REFLEXÃO			
Número	---	---	---
Trincas Transversais (m)	---	---	---
Selagem (m)	---	---	---
Trincas Longitudinais (m)	---	---	---
Selagem (m)	---	---	---
6. TRINCAS TRANSVERSAIS (m)			
Número	---	---	---
Extensão (m)	---	---	---
Selagem (m)	---	---	---
7. REMENDOS (Número)	<u>3.</u>	<u>1.</u>	---
Área (m ²)	<u>6.</u>	<u>15.</u>	---

PLANILHA 2**LEVANTAMENTO DE DEFEITOS NO CAMPO**IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO: 15 - Seção 2 - 80 → 100mDATA DO LEVANTAMENTO (DIAMÊS/ANO): 16/06/17

TIPO DE DEFEITO	NÍVEL DE SEVERIDADE		
	BAIXA	MÉDIA	ALTA
8. PANELAS (Número)	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>
Área (m ²)	<u>0,4</u>	<u>8</u>	<u>1,2</u>
9. DEFORMAÇÃO PERMANENTE NAS TRILHAS DE RODA (% da extensão da seção)	---	---	---
10. CORRUGAÇÃO (Número)	---	---	---
Área (m ²)	---	---	---
11. EXSUDAÇÃO (m ³)	---	---	---
12. AGREGADOS POLIDOS (m ²)	---	---	---
13. DESGASTE (m ²)	---	---	---
15. BOMBEAMENTO (Número)	---	---	---
Extensão (m)	---	---	---
16. OUTRO (Descrever)	_____		

OBSERVAÇÃO:

REGISTRAR "0" PARA OS TIPOS DE DETERIORAÇÃO E/OU NÍVEIS DE SEVERIDADE NÃO ENCONTRADOS.

APENDICE B - Ficha de avaliação de serventia

NORMA DNIT 009/2003-PRO 5

Anexo A (normativo)
Ficha de avaliação de serventia

VSA - Valor de Serventia Atual	5	ÓTIMO	Conceito
	4	BOM	
	3	REGULAR	
	2	RUIM	
	1	PÉSSIMO	
	0		

Rodovia: Av. Horto - Seção - 2 - 200 - 0 400 m

Observações: _____

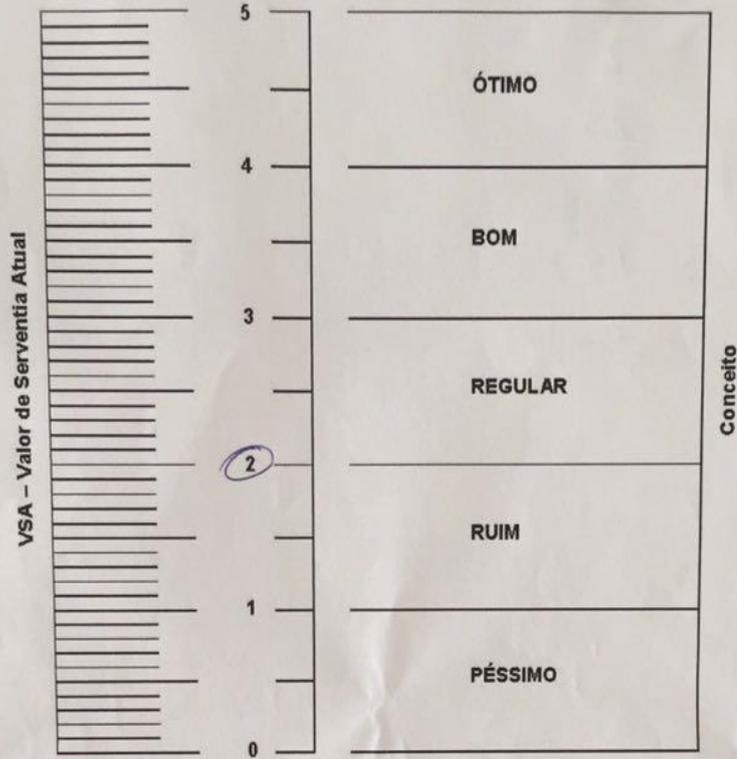
Nº do Avaliador: Ducan Padre

Data: 16/06/17

_____ /Índice geral

Anexo A (normativo)

Ficha de avaliação de serventia



Rodovia: Av. Horto - Trecho 2 - 200 -> 400 m

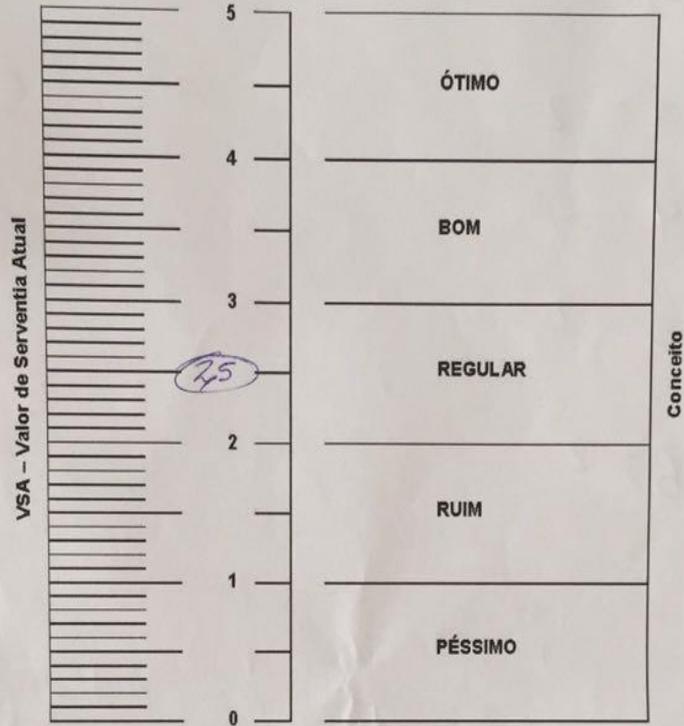
Observações: _____

Nº do Avaliador: André

Data: 16/06/17

Anexo A (normativo)

Ficha de avaliação de serventia



Rodovia: Av. Horto - Trecho 2 - 200 → 400 m

Observações: _____

Nº do Avaliador: Gabriel

Data: 16.06.17

ANEXOS

ANEXO A - Ficha de avaliação de serventia

NORMA DNT 0502003-PRD 5

Anexo A (normativo)
Ficha de avaliação de serventia

VSA - Valor de Serventia Atual	5	ÓTIMO	Concreto
	4	BOM	
	3	REGULAR	
	2	RUIM	
	1	PÉSSIMO	
	0		

Rodovia: _____

Observações: _____

Nº do Avaliador: _____

Data: ____/____/____

_____ Índice geral

ANEXO B – Levantamento de defeitos no campo

PLANILHA 1***LEVANTAMENTO DE DEFEITOS NO CAMPO***

IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO: _____

DATA DO LEVANTAMENTO (DIA/MÊS/ANO): ___/___/___

TÉCNICOS: _____

TIPO DE DEFEITO	NÍVEL DE SEVERIDADE		
	BAIXA	MÉDIA	ALTA
1. TRINCAS POR FADIGA (m ²)	_____	_____	_____
2. TRINCAS EM BLOCOS (m ²)	_____	_____	_____
3. TRINCAS NOS BORDOS (m)	_____	_____	_____
4. TRINCAS LONGITUDINAIS (m)			
4a - Nas Trilhas de Roda			
Selagem (m)	_____	_____	_____
4b - Fora das Trilhas de Roda			
Selagem (m)	_____	_____	_____
5. TRINCAS POR REFLEXÃO			
Número	_____	_____	_____
Trincas Transversais (m)	_____	_____	_____
Selagem (m)	_____	_____	_____
Trincas Longitudinais (m)	_____	_____	_____
Selagem (m)	_____	_____	_____
6. TRINCAS TRANSVERSAIS (m)			
Número	_____	_____	_____
Extensão (m)	_____	_____	_____
Selagem (m)	_____	_____	_____
7. REMENDOS (Número)	_____	_____	_____
Área (m ²)	_____	_____	_____

PLANILHA 2

LEVANTAMENTO DE DEFEITOS NO CAMPO

IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO: _____

DATA DO LEVANTAMENTO (DIA/MÊS/ANO): ___ / ___ / ___

TIPO DE DEFEITO	NÍVEL DE SEVERIDADE		
	BAIXA	MÉDIA	ALTA
8. PANELAS (Número) Área (m ²)	_____	_____	_____
9. DEFORMAÇÃO PERMANENTE NAS TRILHAS DE RODA (% da extensão da seção)	_____	_____	_____
10. CORRUGAÇÃO (Número) Área (m ²)	_____	_____	_____
11. EXSUDAÇÃO (m ²)	_____	_____	_____
12. AGREGADOS POLIDOS (m ²)	_____	_____	_____
13. DESGASTE (m ²)	_____	_____	_____
15. BOMBEAMENTO (Número) Extensão (m)	_____	_____	_____
16. OUTRO (Descrever)	_____		

OBSERVAÇÃO.

REGISTRAR "0" PARA OS TIPOS DE DETERIORAÇÃO E/OU NÍVEIS DE SEVERIDADE NÃO ENCONTRADOS.

Santos, Lucas Gabriel Soares Padre.

Proposta de implementação de um sistema de gerência de pavimento para vias urbanas/ Lucas Gabriel Soares Padre Santos.– São Luís, 2017.

122f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Profa.Dra.Maria Teresinha de Medeiros Coelho.

1. Pavimentação. 2. Gerência de pavimentos. 3. Software de gerência. 4. Manutenção e reabilitação. I. Título.

CDU 693.75:004.4