

MINISTÉRIO DA DEFESA  
EXÉRCITO BRASILEIRO  
SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA  
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

IVARLENE ARAUJO DE OLIVEIRA MARQUES

METODOLOGIA PARA O GERENCIAMENTO DE RODOVIAS DE  
BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO

Rio de Janeiro  
2005

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

**IVARLENE ARAUJO DE OLIVEIRA MARQUES**

**METODOLOGIA PARA O GERENCIAMENTO DE RODOVIAS DE BAIXO  
VOLUME DE TRÁFEGO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientador: Prof. Luiz Antônio Silveira Lopes - D.Sc.

Co-orientador: Eng. Cristiano Martins Ribeiro - M.Sc.

**Rio de Janeiro  
2005**

c2005

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 - Praia Vermelha.

Rio de Janeiro - RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmар ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

M357 Marques, Ivarlene Araujo de Oliveira  
Metodologia para o Gerenciamento de Rodovias de Baixo  
Volume de Tráfego / Ivarlene Araujo de Oliveira Marques -  
Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2005.

110 p.: il., tab.

Dissertação (mestrado) - Instituto Militar de  
Engenharia, Rio de Janeiro, 2005.

1. Engenharia de Transportes. 2. Rodovias. 3.  
Pavimentação I. Instituto Militar de Engenharia. II.  
Título.

CDD 153

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

IVARLENE ARAUJO DE OLIVEIRA MARQUES

**METODOLOGIA PARA GERENCIAMENTO DE RODOVIAS DE BAIXO  
VOLUME DE TRÁFEGO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientador: Prof. Luiz Antônio Silveira Lopes - D.Sc.

Co-orientador: Eng. Cristiano Martins Ribeiro - M.Sc.

Aprovada em 01 de Julho de 2005 pela seguinte Banca Examinadora:

---

Prof. Luiz Antônio Silveira Lopes - D.Sc. do IME - Presidente

---

Prof.<sup>a</sup> Liedi Legi Bariani Bernucci - D.Sc. da USP

---

Prof. José Renato Moreira da Silva de Oliveira - D.Sc. do IME

---

Eng. Cristiano Martins Ribeiro - M.Sc. da CONCREMAT

Rio de Janeiro

2005

Aos meus amados: Jair e Marlene.

## **AGRADECIMENTOS**

À DEUS, acima de tudo, pelo dom da vida e por estar presente nos momentos difíceis, mostrando que sou capaz de vencer grandes barreiras.

Ao Instituto Militar de Engenharia, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado em Engenharia de Transportes.

À CAPES, pelo apoio financeiro ao longo do curso.

Ao Engenheiro Mirandir, do IPR, por disponibilizar material e seu conhecimento a respeito do software HDM.

Ao meu querido pai, Jair, por acreditar e principalmente apoiar todas as minhas decisões, mesmo algumas vezes discordando delas.

À minha mãe, por todo amor, carinho, compreensão e por todo esforço para sempre me manter tranqüila, em paz e feliz.

Aos meus irmãos: Idarlete, Idarlene e Lincon, pela alegria, incentivo e por todos os maravilhosos momentos que compartilhamos.

À Giselle, minha querida sobrinha, que sempre confeccionou lindos presentinhos para diminuir a distância entre nós.

À CONCREMAT, que contribuiu na elaboração desta pesquisa com o apoio técnico necessário.

Ao professor e orientador, Luiz Antônio Silveira Lopes, pela orientação, amizade, paciência e por acreditar neste trabalho.

Ao Engenheiro e co-orientador, Cristiano Martins Ribeiro, pela dedicação à leitura desta dissertação e pelo direcionamento durante a pesquisa.

Aos integrantes da Banca Examinadora, José Renato Moreira da Silva de Oliveira e Liedi Legi Bariani Bernucci, por participarem desta banca e pelo tempo por eles dedicado à apreciação deste trabalho.

Aos professores da PG de Transportes, por compartilharem seus valiosos conhecimentos.

Aos colegas: Chagas, Isolina, Rachel, Paulo, Jefferson, Fernando, Veiga e Kary, da turma de mestrado do IME de 2002, por toda ajuda durante os créditos e pela convivência saudável.

À minha turma de Mestrado, pelas horas de estudo compartilhadas. Especialmente à Lucélia, por suportar meus momentos de mau humor e extrema euforia, pela maravilhosa convivência ao dividirmos o apartamento.

À Flavia e Bruna, por me aceitarem na casa da ladeira e por tão bons momentos que dividimos durante o ano de 2003.

À Isolina, pelo ombro amigo nos piores momentos. À Márcia, por toda programação cultural proporcionada. À Monique e Allan, por toda hospitalidade e carinho.

Ao Sgt Oazem, pela ajuda com toda a parte burocrática e pela paciência. À D. Lucinda, por nunca deixar faltar o cafezinho.

Aos meus queridos amigos: Cristina, Marisol e Sergio de Sá, pelos momentos de descontração.

A todas as pessoas que contribuíram para a elaboração deste trabalho e torceram por esta vitória.

"Se você não conseguir fazer uma coisa grandiosa hoje, faça alguma coisa pequena, mas faça,... O importante é não parar, mesmo um pequeno avanço na direção certa já é um grande progresso".

**(A.D.)**



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	11	
LISTA DE TABELAS.....	12	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	Objetivo .....	17
1.2	Justificativa .....	17
1.3	Estruturação do Trabalho .....	19
<b>2</b>	<b>O SISTEMA RODOVIÁRIO BRASILEIRO .....</b>	<b>20</b>
2.1	Considerações Iniciais .....	20
2.2	Histórico das Rodovias .....	20
2.3	Situação Atual .....	23
2.4	Caracterização das Rodovias de Baixo Volume de Tráfego Brasileiras .....	28
2.5	Considerações Parciais .....	29
<b>3</b>	<b>GERÊNCIA DE PAVIMENTOS .....</b>	<b>30</b>
3.1	Considerações Iniciais .....	30
3.2	Conceitos .....	31
3.3	Níveis de Gerência .....	33
3.4	Composição Básica de um Sistema de Gerência de Pavimentos .....	33
3.5	Evolução da Gerência de Pavimentos .....	35
3.5.1	RTIM (Road Transport Investment Model) .....	36
3.5.2	RED (Road Economic Decision model) .....	37
3.5.3	DETOUR (Deterioration of Engineered Unpaved Roads) .	41
3.5.4	HDM (Highway Development Management) .....	43
3.6	Considerações Parciais .....	47
<b>4</b>	<b>ETAPAS DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS .....</b>	<b>49</b>
4.1	Considerações Iniciais .....	49
4.2	Base de Dados .....	49

4.3	Avaliação dos Pavimentos .....	50
4.4	Modelos de Previsão do Desempenho dos Pavimentos ...	52
4.4.1	Modelo de Desempenho da AASHTO .....	53
4.4.1.1	Função da Serventia .....	54
4.4.1.2	Índice de Serventia .....	55
4.4.2	Metodologia Adotada pela Pesquisa de Inter- Relacionamento dos Custos Rodoviários (PICR) .....	55
4.4.2.1	Trincamento .....	55
4.4.2.2	Irregularidade .....	57
4.4.2.3	Afundamento de Trilha de Roda .....	58
4.4.3	Modelo Utilizado no <i>Highway Design and Maintenance Standards Model</i> (HDM) .....	58
4.4.3.1	Trincamento .....	59
4.4.3.2	Desprendimento de Agregados .....	61
4.4.3.3	Buracos .....	62
4.4.3.4	Irregularidade .....	64
4.5	Critérios de Decisão .....	67
4.6	Análise Técnica .....	67
4.7	Análise Econômica .....	67
4.8	Considerações Parciais .....	69
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA PROPOSTA PARA A GERÊNCIA DE PAVIMENTOS EM RODOVIAS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO .....</b>	<b>70</b>
5.1	Considerações Iniciais .....	70
5.2	Desenvolvimento e Implantação de um Sistema de Gerência de Pavimentos .....	70
5.3	Coleta de Dados .....	71
5.4	Base de Dados .....	73
5.5	Avaliação de Desempenho e das Condições da Rede ....	73
5.5.1	Implementação do Modelo de Previsão de Desempenho ..	76
5.5.2	Tipos de Intervenção .....	79
5.5.3	Critérios de Decisão .....	81
5.6	Retro-alimentação, Pesquisa e Treinamento .....	84
5.7	Considerações Parciais .....	85

<b>6</b>	<b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA PARA O GERENCIAMENTO DE RODOVIAS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO .....</b>	<b>86</b>
6.1	Considerações Iniciais .....	86
6.2	O Protótipo .....	86
6.2.1	Entrada de Dados .....	86
6.2.2	Tráfego .....	89
6.2.3	Saídas do Protótipo .....	90
6.3	Aplicação do Protótipo .....	91
6.3.1	Entrada de Dados .....	91
6.3.2	Resultados .....	94
6.3.3	Análise dos Resultados .....	100
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>102</b>
7.1	Conclusões .....	102
7.2	Recomendações .....	103
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>105</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIG.2.1	Investimentos Anuais na Rede Rodoviária Federal - (US\$ bilhões) .....	23
FIG.2.2	Condições das Rodovias Brasileiras .....	24
FIG.2.3	Distribuição da Malha Rodoviária Pavimentada por Jurisdição .....	24
FIG.2.4	Avaliação Geral das Condições do Pavimento .....	26
FIG.2.5	Distribuição do Transporte de Carga .....	27
FIG.3.1	Esquema Clássico de um Sistema de Gerência de Pavimentos .....	34
FIG.3.2	Principais Atividades de um SGP .....	35
FIG.3.3	Entrada de Dados HDM - Definição da Seção .....	46
FIG.3.4	Entrada de Dados HDM - Geometria da Seção .....	46
FIG.3.5	Entrada de Dados HDM - História do Pavimento .....	46
FIG.3.6	Entrada de Dados HDM - Condição do Pavimento .....	47
FIG.3.7	Entrada de Dados HDM - Detalhes do Tráfego .....	47
FIG.5.1	Dados de Entrada do HDM para Estratégia de R/M .....	77
FIG.5.2	Diferença nos Dados de Entrada do HDM e do Protótipo .....	78
FIG.5.3	Critérios de Decisão para Soluções de Intervenção ..	83
FIG.6.1	Gráfico da Progressão de Defeitos no HDM X Protótipo - Alternativa Sem Manutenção .....	101
FIG.6.2	Gráfico da Progressão do IRI no HDM x Protótipo - Alternativa Sem Manutenção .....	101

## LISTA DE TABELAS

TAB.1.1	Distribuição da Malha Rodoviária.....	18
TAB.2.1	Índice de Estado das Rodovias.....	25
TAB.2.2	Estado das Rodovias Pavimentadas em Abril de 2003.	25
TAB.2.3	Distribuição das Condições Gerais do Pavimento....	26
TAB.3.1	Predecessores do HDM-4.....	36
TAB.3.2	Dados básicos de entrada do modulo HDM-4 VOC.....	38
TAB.3.3	Entrada de Dados de Controle e Setup do Módulo <i>MAIN</i> .....	39
TAB.3.4	Dados básicos de entrada do módulo Análise de Risco .....	40
TAB.3.5	Entrada de dados relativos a rodovia.....	42
TAB.4.1	Categoria de Defeitos nos Pavimentos.....	51
TAB.6.1	Planilha de Entrada de Dados do Protótipo.....	88
TAB.6.2	Planilha de Entrada dos Parâmetros do Protótipo...	89
TAB.6.3	Entrada de Dados do Tráfego.....	90
TAB.6.4	Planilha de Saída do Protótipo.....	91
TAB.6.5	Entrada de Dados da Aplicação do Protótipo.....	93
TAB.6.6	Entrada dos Parâmetros de Intervenção da Aplicação do Protótipo.....	94
TAB.6.7	Resultados da Alternativa SEM MANUTENÇÃO.....	95
TAB.6.8	Resultados da Alternativa MANUTENÇÃO DE ROTINA....	96
TAB.6.9	Resultados da Alternativa MANUTENÇÃO PREVENTIVA...	97
TAB.6.10	Resultados da Alternativa REFORÇO 5CM.....	98
TAB.6.11	Resultados das Alternativas MANUTENÇÃO DE ROTINA e REFORÇO.....	99

## RESUMO

Esta dissertação tem por objetivo propor uma metodologia para o gerenciamento de rodovias de baixo volume de tráfego direcionada para as principais etapas: gerência de pavimentos, modelos de gerência utilizados e o desenvolvimento da metodologia proposta.

Segundo GEIPOT (2001), o sistema rodoviário é responsável por 60,5 % do transporte de carga do país. Para que este seja realizado com segurança e eficiência, é necessário que o pavimento das rodovias esteja em boas condições. A deterioração do pavimento acarreta um aumento no custo operacional dos veículos e, por conseqüência, aumento no custo total do transporte. Com o fim do Fundo Rodoviário Nacional, na década de 80, o investimento em infra-estrutura rodoviária foi reduzido e as rodovias ficaram praticamente sem manutenção. A falta de investimento foi responsável pela deterioração do pavimento, podendo-se destacar alguns defeitos, tais como: trincas, buracos e irregularidade, tornando necessário um programa de investimentos que indique os locais e os recursos a serem aplicados para a recuperação da malha rodoviária.

O objetivo da Gerência de Pavimentos é auxiliar os gestores da infra-estrutura na melhor aplicação dos recursos disponíveis. Para a programação e uso eficiente dos recursos de conservação, os sistemas de gerência de pavimentos fazem previsão da condição futura dos pavimentos que compõem determinada rede rodoviária. Com base nesta previsão e nas opções de manutenção, auxiliam na determinação da estratégia ótima. Os Sistemas de Gerência de Pavimentos estão estruturados em módulos interligados que devem estar em constante atualização para que o sistema esteja adequado às inovações tecnológicas da Pavimentação.

As metodologias existentes visam diversos tipos de aplicação em âmbito mundial, o que as tornam muito complexas e de difícil utilização em rodovias de baixo volume de tráfego que representam uma percentagem significativa da malha rodoviária brasileira.

A metodologia proposta consiste em um sistema de gerência de pavimentos composto pelos seguintes módulos: Coleta de Dados, Base de Dados, Avaliação do Desempenho e das Condições da Rede e Retro-alimentação, Pesquisa e Treinamento. Para auxiliar o acompanhamento das condições da rodovia e a programação dos investimentos, foram implementados, em planilhas do Excel, modelos de previsão da deterioração do pavimento como trincamento, desprendimento do agregado, buracos e irregularidade. Os modelos utilizados como base são os propostos por Paterson(1987).

## ABSTRACT

This dissertation has for objective to consider a methodology for the highways management of low volume traffic. Being that the study it was developed in three main stages: the pavement management, used models of management, and the development of the methodology proposal.

According to GEIPOT (2001), the road system is responsible for 60.5 % of the load transport of the country; so that this is carried through safety and efficiency is necessary that pavement of highways is good conditions. Therefore deterioration of pavement causes an increase the vehicles operational cost and for consequence increase in the transport total cost. With the end of the Deep National Road, in the decade of 80, the investment in road infrastructure was reduced and the highways had practically been without maintenance, the investment lack were responsible for the deterioration of the pavement where such are identified to defects as: cracking, potholes, roughness, becoming necessary a program of investments, that indicates the places and resources to be applied for recovery of the road mesh.

The objective of Pavement Management is auxiliary the infrastructure managers in the best application of available resources. For the programming and efficient use of the conservation resources, the systems of management of pavement build previous future condition of the pavement that compose definitive road network, with base in this predict and the maintenance options they assist in the determination of the excellent strategy. The Systems of Pavement Management are structuralized in linked modules, that must be in constant update so that the system is adjusted the technological innovations of Pavement.

The existing methodologies aim diverse types of application in international scope, what they very become them complex and difficult use in highways of low volume traffic that represent a significant percentage of the Brazilian road network.

The methodology proposal consists a composed system of pavement management for the following modules: collects Data; Database; Evaluation of the Performance and Conditions of the net and Feedback, Research and Training. To assist the accompaniment of the conditions of highway and the programming of the investments models of forecast of the deterioration pavement had been implemented in spread sheets of the Excel as cracking, ravelling, potholes and roughness. The used models as base are of Paterson (1987).

## 1 INTRODUÇÃO

BRASILEIRO ET AL (2001) relata que o desenvolvimento do transporte rodoviário nacional foi impulsionado após a Segunda Guerra Mundial, por motivos que estão intimamente ligados com a implantação da indústria automobilística, a criação da Petrobrás e a construção da cidade de Brasília.

O financiamento deste desenvolvimento foi através do Fundo Rodoviário Nacional, criado em 1945, que era suprido pelo imposto cobrado sobre óleo, combustíveis líquidos e lubrificantes. Nos dez anos subseqüentes, o programa executado pelo governo procurou atender a todas as regiões do país, privilegiando alguns eixos importantes, tais como a ligação entre a Capital Federal e capitais de alguns estados, além de certas transversais importantes. (BRASILEIRO ET AL, 2001)

Porém, na década de 80, o Fundo Rodoviário Nacional foi extinto, reduzindo os investimentos realizados na infraestrutura, causando o envelhecimento e deterioração da malha rodoviária brasileira.

Pesquisas indicam como conseqüência imediata dessa destruição dos pavimentos, um aumento de até 58% no consumo de combustíveis, 30% no desgaste da frota e 100% no tempo de percurso. Cabe ressaltar que o excesso de carga é responsável por elevar o custo de manutenção das rodovias (se e quando ela ocorre) e dos veículos, além de provocar maior risco de acidentes.

No cenário mundial, até a década de 70, a construção de rodovias foi muito incentivada por parte do governo. A partir de então, primeiramente nos países desenvolvidos, a manutenção de rodovias começa a receber maior atenção e, com esta nova



mentalidade, inicia-se o desenvolvimento de técnicas adequadas e de sistemas de gestão que permitissem determinar o tipo de intervenção mais adequado em função da estrutura do pavimento e das exigências de tráfego. (FONSECA, 1996)

Desde 1968, o Banco Mundial, em parceria com laboratórios e institutos de pesquisa, tem realizado diversas pesquisas com o objetivo de desenvolver modelos para avaliação dos projetos de rodovias. Estes modelos vêm sendo aperfeiçoados e atualmente utiliza-se o software HDM-4 (Highway Development e Management) para verificar a viabilidade e otimizar os benefícios econômicos para os usuários da estrada.

A Gerência de Pavimentos, que consiste de um elenco de atividades coordenadas, relacionadas com o planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa, constitui a ferramenta que pode auxiliar os organismos rodoviários na otimização da aplicação dos recursos.

Com grande parte da malha rodoviária bastante danificada e envelhecida, necessitando de manutenção e com a escassez de recursos disponíveis, o tema Gerência de Pavimentos tem sido abordado com frequência por profissionais e pesquisadores da área, na busca de ferramentas técnico-administrativas que possibilitem aos órgãos e/ou agências o estabelecimento de Programas Anuais e Plurianuais de Investimentos dos recursos disponíveis para a manutenção da malha rodoviária.

Essa busca resultou no desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho dos pavimentos utilizados para a análise do comportamento do pavimento e a indicação das melhores e mais econômicas soluções de manutenção. Um dos modelos de previsão utilizado e conhecido mundialmente é o HDM, que foi desenvolvido com o apoio do Banco Mundial, a partir de pesquisas realizadas no Brasil, Quênia e em outros

países em desenvolvimento. Atualmente, sua utilização é uma exigência para o financiamento de infra-estrutura nos países em desenvolvimento.

Pretende-se então utilizar o HDM como base na proposta de uma metodologia para o gerenciamento de pavimentos em rodovias de baixo volume de tráfego.

## 1.1 OBJETIVO

Sabendo da necessidade de ferramentas para auxiliar os gestores na aplicação dos recursos disponíveis, este estudo tem por objetivo propor uma Metodologia para a Gerência de Pavimentos em Rodovias de Baixo Volume de Tráfego, utilizando como base o modelo de previsão de desempenho de pavimentos do HDM.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento de técnicas para a gerência de pavimentos da malha rodoviária se torna necessário para o crescimento econômico do país, pois constitui uma forma de redução dos custos de transporte e benefício ao desenvolvimento social e econômico das diferentes regiões.

Além de priorizar as intervenções, um Sistema de Gerência pode ser utilizado para organizar departamentos estaduais, federais, agências reguladoras ligadas à infra-estrutura rodoviária e concessionárias, no sentido de prever recursos necessários.

Os softwares utilizados em Gerência de Pavimentos, tais como HDM-4, RED (Roads Economic Decision Model) e DETOUR (Deterioration of Engineered Unpaved Roads), foram

desenvolvidos para auxiliar os planejadores e coordenadores que trabalham com orçamentos, porém a aplicação tem se tornado restrita, devido ao volume, à diversidade dos dados de entrada requeridos e complexidade na obtenção dos mesmos.

Por outro lado, o Banco Mundial tem apoiado o desenvolvimento de modelos simplificados para utilização em condições específicas, como por exemplo: o RED, desenvolvido pelo Programa **Sub-Saharan Africa Transport Policy** e utilizado em rodovias de baixo volume de tráfego e o DETOUR, utilizado em rodovias não pavimentadas.

Outro fator é que a malha rodoviária brasileira possui 1.724.923 km, dos quais aproximadamente 10% são pavimentadas, e destas, aproximadamente 90% é de baixo volume de tráfego (TAB. 1.1).

**TAB. 1.1 Distribuição da Malha Rodoviária**

RODOVIAS	PAVIMENTADAS (Km)	SEM PAVIMENTO (Km)	TOTAL (Km)
FEDERAIS	55.905	14.843	70.748
ESTADUAIS	91.348	116.538	207.886
MUNICIPAIS	16.993	1.429.296	1.446.289
TOTAL	164.246	1.560.677	1.724.923

Fonte: PNV 1998

Soma-se o fato de que as diretrizes para a pesquisa na área de Transportes do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) estabelecem como uma das áreas prioritárias, a área de Planejamento e Operação, que sugere no projeto CT TRANSPO-PAVIMENTA: "deve-se pesquisar, desenvolver ou adaptar sistemas de gestão para otimização e priorização, tendo em vistas as alternativas de construção e de manutenção disponíveis e os montantes de recursos necessários e possíveis de serem empregados nesta área".

### 1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se dividido em 8 (oito) capítulos:

No Capítulo 1 (um) - Introdução - apresenta-se uma Introdução, o Objetivo, a Justificativa e a Estruturação do Trabalho.

No Capítulo 2 (dois) - O Sistema Rodoviário Brasileiro - é apresentado o sistema rodoviário brasileiro, seu início, sua evolução e a condição atual. Este capítulo ainda apresenta a caracterização das rodovias de baixo volume de tráfego.

No Capítulo 3 (três) - Gerência de Pavimentos - apresentam-se os conceitos e definições da Gerência de Pavimentos Rodoviários, assim como a evolução das ferramentas utilizadas nestes sistemas até o modelo HDM-4.

No Capítulo 4 (quatro) - Etapas de um Sistema de Gerência de Pavimentos - apresenta-se a composição básica de um Sistema de Gerência de Pavimentos, descrevendo cada uma das etapas do sistema.

No Capítulo 5 (cinco) - Metodologia Proposta para a Gerência de Pavimentos de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego - apresenta-se a metodologia proposta para a Gerência de Pavimentos.

No Capítulo 6 (seis) apresenta-se uma aplicação da metodologia proposta no trabalho e análise dos resultados.

No Capítulo 7 (sete) apresentam-se as conclusões do presente trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

## 2 O SISTEMA RODOVIÁRIO BRASILEIRO

### 2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo se focaliza no segmento do transporte rodoviário em razão de sua importância na matriz de transportes do país, apresenta um breve histórico das rodovias brasileiras, indicando sua evolução, a situação atual da malha e suas conseqüências, assim como as transformações institucionais necessárias por que vêm passando o segmento, no sentido de viabilizar um aumento na participação da iniciativa privada.

Ainda neste capítulo apresenta-se um item específico sobre a caracterização das rodovias de baixo volume de tráfego.

### 2.2 HISTÓRICO DAS RODOVIAS

Segundo BARAT (1978), a expansão do transporte rodoviário foi resultado de distorções na estrutura da demanda de serviços de transporte no país, a partir do pós-guerra e, também, decorrência da conjugação de fatores peculiares ao desenvolvimento econômico brasileiro. Tal expansão deveu-se à sua proporção mais baixa de custos fixos, relativamente às demais modalidades e seus custos variáveis de prestação de serviço terem crescido a um ritmo menor que os da ferrovia e o marítimo.

Na década de 20, o então Presidente da República, Washington Luiz, conhecido pela frase: "Governar é abrir estradas", lutava para construir as rodovias Rio - São Paulo e Rio - Petrópolis, encontrando enormes dificuldades. Sendo que no final da década de 30, segundo FRAENKEL (1980) o Brasil ainda

era considerado um arquipélago, por não haver ligações internas entre várias regiões, inclusive com o Norte e Nordeste do país.

Na década de 40, o Brasil adotava uma nova política rodoviária e em 1945 é assinado o decreto lei 8.435, criando o Fundo Rodoviário Nacional (FRN), constituído pelo Imposto Único sobre Combustíveis Líquidos, que dava autonomia administrativa e financeira aos estados e municípios, exigindo que os Estados criassem DER (Departamento Estadual de Rodagem) autônomos como condição para receberem quotas do FRN. Essa lei revolucionou o panorama dos transportes no Brasil, dando início à era Rodoviária que, em um período de 30 anos aproximadamente, propiciou a ligação de todos os principais centros do país com pavimentação asfáltica e atraiu para os transportes rodoviários cerca de 70% de todas as cargas e passageiros (FRAENKEL, 1980).

De 1948 a 1988, os recursos do Fundo Rodoviário Nacional (oriundos do imposto sobre combustíveis e lubrificantes) permitiram ao governo federal financiar a construção de rodovias pelos Estados, acarretando uma expansão da malha pavimentada da ordem de 12% anuais no período 1956-80.

Em 1975, esse panorama começa a ser alterado com a transferência gradativa de parcelas dos recursos gerados pelo imposto único sobre combustíveis, que cabiam à União, para o Fundo Nacional de Desenvolvimento (FND), chegando a 50% em 1979. Em 1982, esse processo foi ampliado com a transferência de 100% da parcela do FRN da União ao FND. A partir desse ano, a administração do setor rodoviário passou a contar apenas com recursos dos orçamentos anuais, insuficientes para atender à infra-estrutura, e financiamentos de bancos de desenvolvimento nacionais e internacionais.

Segundo DUARTE (2002), o FRN foi suspenso em 1982 por 3 anos e definitivamente extinto na Constituição Federal de 1988, que extinguiu a vinculação de recursos tributários, criando um caixa único do Estado. Durante a existência do FRN, os recursos investidos na infra-estrutura rodoviária eram em torno de 7 bilhões de dólares e, com sua extinção, os investimentos diminuíram significativamente, chegando em 2003 a um valor em torno de 1 bilhão de dólares, como pode ser visto na FIG. 2.1.

Desde então, vem sendo gradativo e sistemático o processo de deterioração das condições rodoviárias, agravado pela precariedade de manutenção e conservação da rede e pelo crescimento explosivo do tráfego de veículos.

Durante a década de 90, com a escassez dos recursos para investimento na infra-estrutura, foi necessária a criação de alternativas com implementação de alguns programas, como, por exemplo, o Programa de Concessões Rodoviárias, o Programa de Descentralização e Restauração da Malha e o Programa Crema - de restauração e manutenção rodoviárias por períodos de 5 anos.

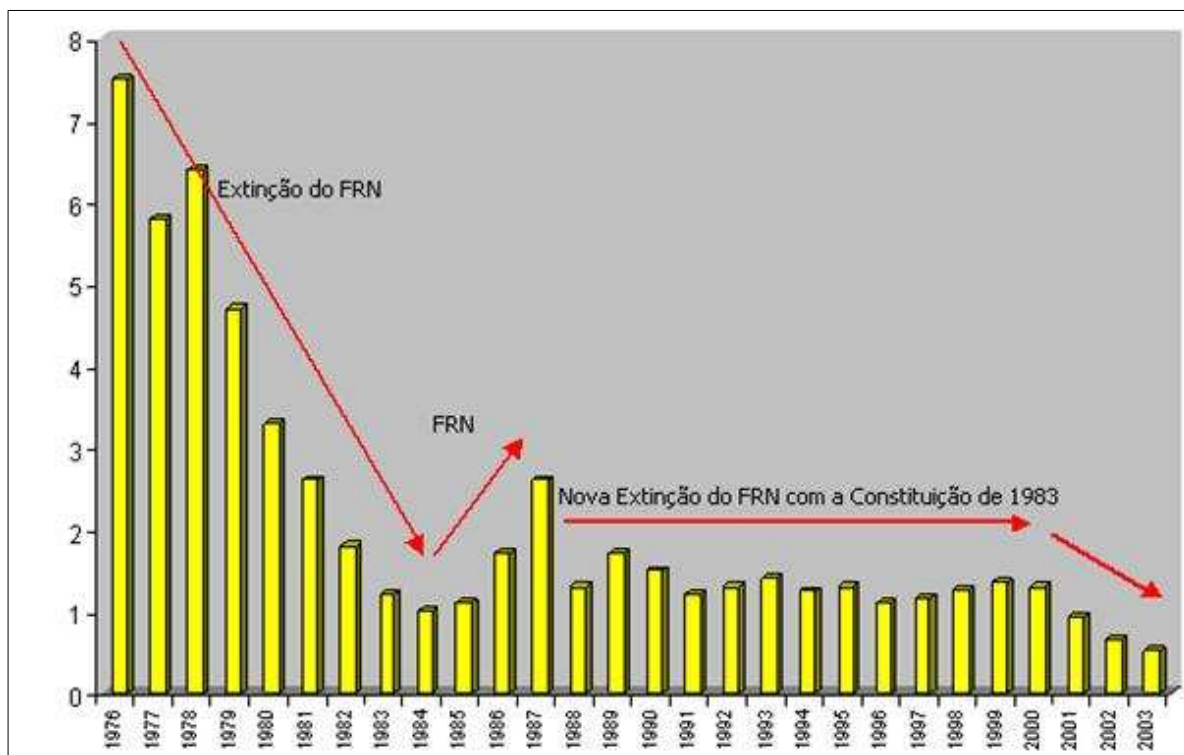


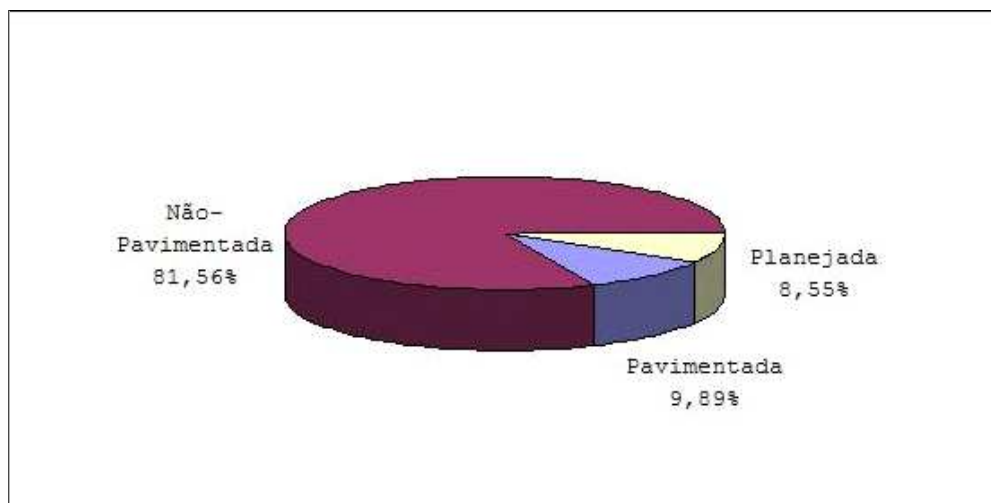
FIG. 2.1 Investimentos Anuais na Rede Rodoviária Federal - (US\$ bilhões)

Fonte: DNIT

### 2.3 SITUAÇÃO ATUAL

A malha rodoviária brasileira, de acordo com o PNV - Plano Nacional Viário 2002, possui um total de 1.748.267,90 km, sendo que deste total apenas 9,89% (172.897,8 km) são pavimentados e 8,55% estão planejados, conforme apresentado abaixo na FIG. 2.2.

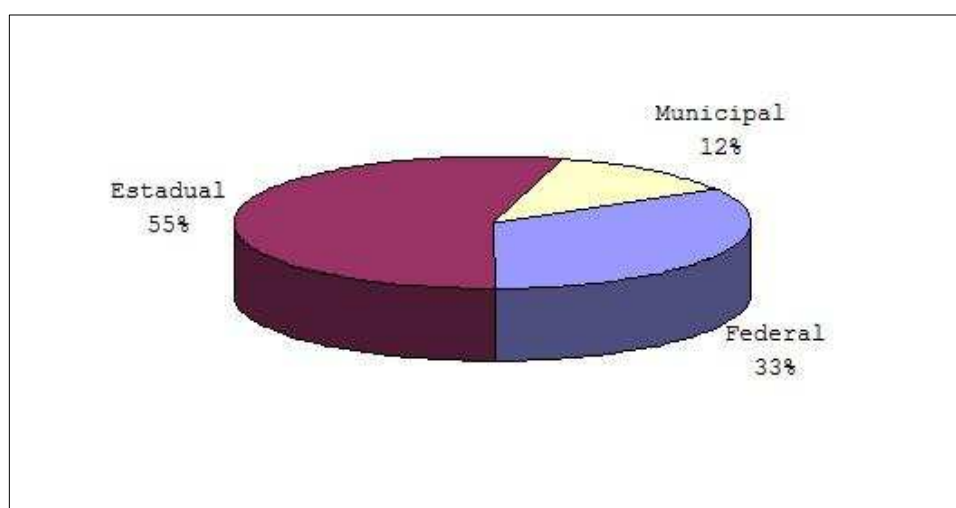




**FIG. 2.2 Condições das Rodovias Brasileiras**

Fonte: PNV 2002

As rodovias pavimentadas estão distribuídas por jurisdição, de acordo com a FIG. 2.3 abaixo:



**FIG. 2.3 Distribuição da Malha Rodoviária Pavimentada por Jurisdição**

Fonte: PNV 2002

No estudo realizado pelo Sistema de Gerência de Pavimentos do DNER, concluído em Abril de 2001, a coleta de dados foi realizada por dois tipos de levantamento, um visual e outro usando um equipamento a laser, que detecta falhas não vistas a olho nu. Os resultados destes levantamentos foram agrupados num único índice - IES (Índice de Estado da Superfície) - que representa o estado geral da superfície dos pavimentos, variando de 1 a 5, como representado na TAB. 2.1 a seguir. (DNER, 2001)

**TAB. 2.1 Índice de Estado das Rodovias**

Descrição	IES	Código	Conceito
$IRI^1 \leq 2,5$ e $ID \leq 20$	4 → 5	5	Excelente
$2,5 < IRI \leq 3,0$ e $20 < ID \leq 60$	3 → 4	4	Bom
$3,0 < IRI \leq 4,0$ e $60 < ID \leq 120$	2 → 3	3	Regular
$4,0 < IRI \leq 5,0$ e $120 < ID \leq 150$	1 → 2	2	Mau
$IRI > 5$ e $ID > 150$	0 → 1	1	Péssimo
ID - Índice de Defeitos			

Fonte: DNIT 2001

Nestas rodovias pavimentadas, a condição do pavimento, de acordo com o Sistema de Gerência de Pavimentos do DNIT, é a apresentada na TAB. 2.2 a seguir.

**TAB. 2.2 Estado das Rodovias Pavimentadas em Abril de 2003**

EXCELENTE/BOM	27,70%
REGULAR	36,20%
MAU/PÉSSIMO	36,10%

Fonte: DNER 2001

A pesquisa realizada pela CNT (Confederação Nacional de Transportes), em 2004, revelou a heterogeneidade das condições do pavimento da malha rodoviária, com trechos extremamente danificados se intercalando com trechos em boas condições (FIG. 2.4).

Estas variações mostram-se onerosas e perigosas, pois comprometem o desempenho operacional de veículos e a segurança de seus ocupantes. Como pode ser visto na TAB. 2.3, a distribuição percentual das condições do pavimento nas rodovias brasileiras mostra um quadro desfavorável, em que 74,7% da extensão pesquisada apresenta algum grau de

---

<sup>1</sup> Índice de Irregularidade Internacional (International Roughness Index), expresso em m/km.

imperfeição (36,4% deficientes, 23,7% ruins, 14,6% péssimos) e, sem dúvida, um elevado patamar de comprometimento.

TAB. 2.3 Distribuição das Condições Gerais do Pavimento

Estado Geral	Extensão Avaliada	
	Km	%
Ótimo	8.692	11,6
Bom	10.227	13,7
Deficiente	27.148	36,4
Ruim	17.686	23,7
Péssimo	10.928	14,6
<b>TOTAL</b>	<b>74.681</b>	<b>100,0</b>

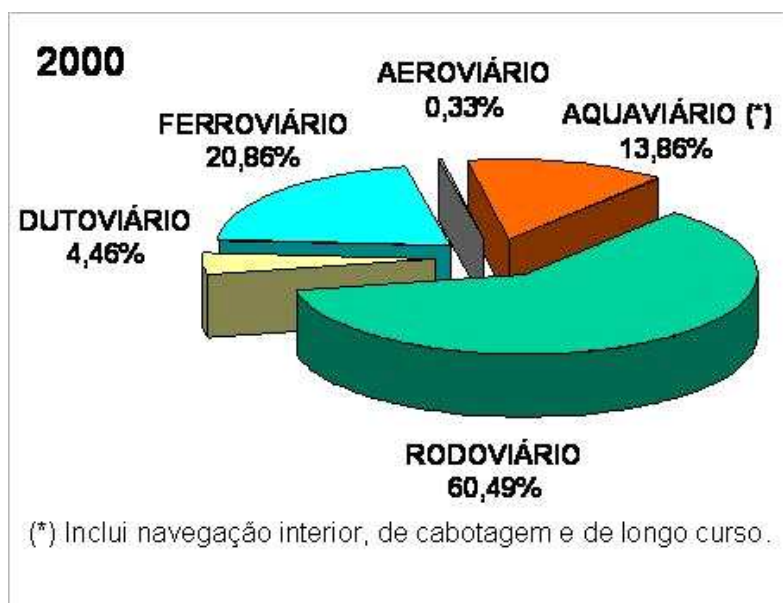
Fonte: CNT 2004



FIG. 2.4 Avaliação Geral das Condições do Pavimento  
Fonte: CNT 2004

A recuperação das rodovias é importante para a atividade econômica do país, pois, no mercado interno, 60,5% da movimentação de cargas é realizada por meio das rodovias (FIG. 2.5). Com esta característica, as deficiências na infraestrutura rodoviária comprometem sobremaneira a integração com

as demais modalidades, gerando restrições operacionais e dificultando o crescimento da intermodalidade. O aumento no tempo de viagem, no consumo de óleo diesel, o risco de acidentes e o gasto com eventuais consertos dos veículos danificados constituem o prejuízo devido às más condições das rodovias.



**FIG. 2.5 Distribuição do Transporte de Carga**  
Fonte: Anuário Estatístico dos Transportes 2001

É oportuno registrar que estudos e relatórios de órgãos internacionais creditam ao mau estado das estradas um prejuízo de cerca de 2% do PIB dos países latino-americanos. Para cada dólar poupado em manutenção no momento adequado, há um acréscimo de três dólares com obras de reabilitação e de até outros três para os usuários (custos de operação adicionais); o que S. H. Lee, da Universidade Federal de Santa Catarina, chama de antieconomia. (SENNA e MICHEL, 2001)

## 2.4 CARACTERIZAÇÃO DAS RODOVIAS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO BRASILEIRAS

No método de dimensionamento da AASHTO, a designação Rodovias de Baixo Volume de Tráfego é restrita àquelas cujo número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão não exceda a  $10^6$  durante o período de projeto escolhido (BERNUCCI, 1995).

O DNIT (Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes) classifica as rodovias para atender aos enfoques e objetivos diversos de natureza técnica, administrativa e de interesse dos usuários, mas não existe no DNIT uma classificação quanto ao volume de tráfego.

Segundo o Manual de Projeto Geométrico do DNER, a classificação das rodovias é dividida em duas partes: Classificação Funcional e Classificação Técnica.

A Classificação Funcional está ligada ao nível de qualidade dos serviços que a rodovia se propõe a prestar, ou seja, deverá prover os meios físicos necessários para que os volumes de tráfego previstos executem com economia, conforto e segurança as viagens desejadas.

A Classificação Técnica relaciona-se diretamente com as características geométricas necessárias para atender seus objetivos: raios de curvatura, rampas, larguras de pista e acostamentos, distâncias de visibilidade, entre outras e também com as restrições de custos condicionadas especialmente pelo relevo da região atravessada pela rodovia: regiões planas, onduladas ou montanhosas.

## 2.5 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Neste capítulo, apresentou-se a atual situação da malha rodoviária e a evidente necessidade da realização de operações de manutenção e restauração da malha rodoviária, tendo em vista ser o transporte rodoviário o modo de transporte responsável por aproximadamente 60 % do transporte de carga do país.

Segundo a pesquisa realizada pela CNT em 2004, aproximadamente 74 % do pavimento brasileiro apresenta alguma imperfeição, tornando evidente a necessidade de restauração da malha rodoviária. Surge, então, a necessidade de que os recursos destinados à manutenção destes pavimentos sejam empregados da forma mais eficaz possível.

Para auxiliar os gestores a empregar esses recursos eficazmente, existe a Gerência de Pavimentos, sobre a qual no capítulo seguinte serão apresentados conceitos, definições e a estruturação. Também serão apresentados alguns dos softwares utilizados na Gerência de Pavimentos.

### 3 GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para melhor compreender a gerência de pavimentos, é bom que primeiramente se defina o que é um pavimento. A Norma Brasileira de Pavimentação (NBR 7207/82 da ABNT) define Pavimento como:

“Uma estrutura construída após terraplanagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a:

1. Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
2. Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
3. Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento”.

Desde a construção e ao longo da vida útil, o pavimento sofre um processo natural de deterioração que ocorre devido aos fatores ambientais e as cargas dos veículos. Este processo de deterioração afeta diretamente o desempenho do pavimento e para mantê-lo com um nível de serventia adequado, faz-se necessário “administrar” ou “manter” o pavimento.

De acordo com QUEIROZ (1984), até 1960, os trabalhos de conservação eram praticamente inexistentes e não seguiam nenhum planejamento. Com a crescente dependência do país pelo transporte rodoviário, ocorreu uma mudança nesta visão e, a partir de então, conservar é considerado tão importante quanto construir. Neste contexto, foram iniciadas as buscas por

sistemas de gerência de pavimentos, que já estavam sendo utilizados em outros países.

### 3.2 CONCEITOS

Pode-se definir "Sistema de Gerência de Pavimentos" como um conjunto de procedimentos para identificar e executar ações de melhorias dentro de critérios limitantes de recursos ou de exigência de níveis mínimos de serventia, de forma a fornecer à rodovia condições de conforto, segurança e economia aos usuários.

Segundo RIBEIRO (2001), não existe um conceito amplamente utilizado, mas algumas definições para Sistema de Gerência de Pavimentos, como pode ser observado nas definições apresentadas abaixo:

- **R. Haas e W.R. Hudson**

"Um Sistema de Gerência de Pavimentos consiste em um conjunto amplo e coordenado de atividades associadas com planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa de pavimentos".

- **Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER**

"Um Sistema de Gerência de Pavimentos compreende um vasto espectro de atividades, incluindo o planejamento ou programação de atividades de dimensionamento, construção, manutenção e avaliação periódica de comportamento".

- **American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)**

"Um Sistema de Gerência de Pavimentos é um conjunto de ferramentas ou métodos que ajudam os tomadores de decisão a encontrar estratégias ótimas para prover, avaliar e manter pavimentos em uma condição aceitável durante um determinado período de tempo".

- **Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)**

"Sistema de Gerência de Pavimentos é o processo de coordenar e controlar um amplo conjunto de atividades destinadas ao planejamento, projeto, construção e



manutenção de pavimentos, de forma a fazer o melhor uso possível dos recursos disponíveis”.

▪ **S.H. Cardoso**

“Sistema de Gerência de Pavimentos compreende todas as atividades de planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação, monitoramento, pesquisa e treinamento em engenharia de pavimentos”.

▪ **M.Y. Shahin e J.A. Walther**

“Um Sistema de Gerência de Pavimentos é um método sistemático e consistente para selecionar necessidades e prioridades de manutenção e reabilitação e determinar o tempo ótimo de intervenção através da previsão da condição futura do pavimento”.

Percebe-se que alguns termos são bastante utilizados, tais como: planejar, programar, construir, avaliar, manter. Os sistemas, de um modo geral, têm procurado dar ênfase a todas estas atividades, porém, às vezes, perdendo-se do foco de maior interesse da administração das agências gestoras, que são as atividades de planejamento, programação e alocação de recursos (RIBEIRO, 2001).

O principal objetivo da gerência de pavimentos é alcançar a melhor aplicação possível para os recursos disponíveis e oferecer um transporte seguro, confortável e econômico aos usuários das rodovias. Isto é alcançado pela comparação das alternativas de investimentos nos níveis de rede e projeto, coordenando-se atividades de dimensionamento, construção, manutenção e avaliação (DNER, 1983).

Há uma série de tarefas a serem executadas para atingir este objetivo, sendo elas (QUEIROZ et al, 1986):

- Avaliação periódica do pavimento, baseada em medições objetivas incorporadas a eventuais avaliações subjetivas;
- Estimativa das condições futuras através do uso de modelos de previsão de desempenho de pavimentos;

- Determinação da época e estratégia de manutenção mais adequada;
- Preparação de programas anuais e/ou plurianuais de manutenção e novas pavimentações, otimizadas com relação às restrições orçamentárias.

### 3.3 NÍVEIS DE GERÊNCIA

Para se tomar qualquer decisão, deve-se definir primeiro em qual nível o trabalho irá se desenvolver, visto que os diferentes níveis de gerência podem ter objetivos distintos. Os sistemas de gerência de pavimento são tratados normalmente em dois níveis: de rede e de projeto.

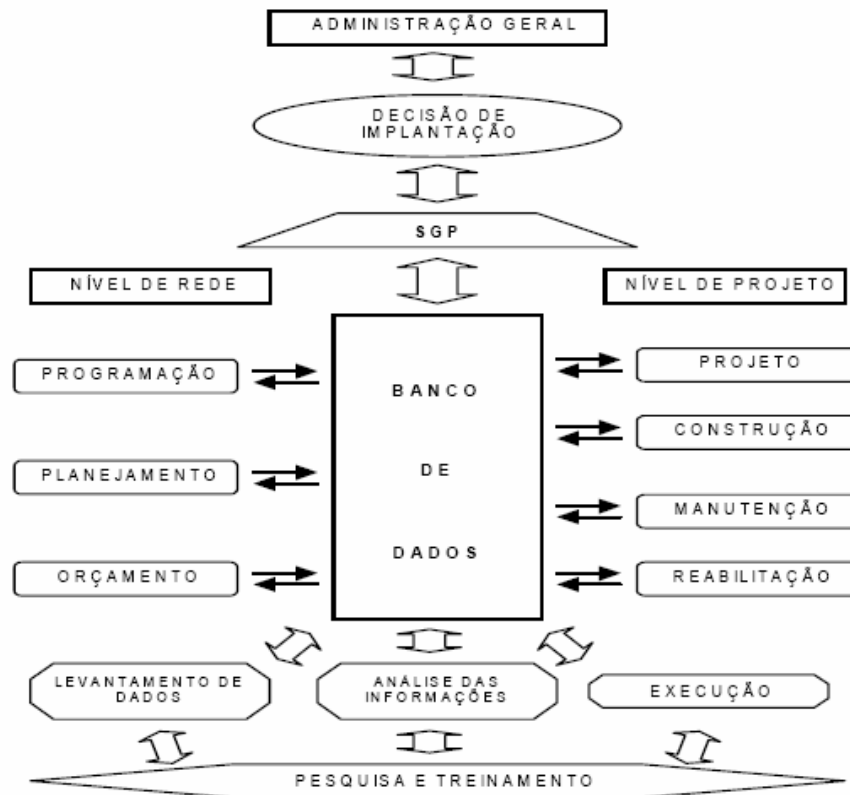
O **nível de rede** indica os trechos prioritários da malha que devem ser objeto de investimento em manutenção e reabilitação, de forma que os recursos alocados tenham uma melhor aplicação. Tais indicações não apresentam detalhes de projeto.

O **nível de projeto** envolve atividades detalhadas do próprio projeto e da execução de obras em um trecho específico da malha, atividades essas que deverão confirmar e detalhar as recomendações da gerência ao nível de rede e que normalmente deverão subsidiar orçamentos e programas de curto prazo.

### 3.4 COMPOSIÇÃO BÁSICA DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Na FIG. 3.1, apresenta-se a forma clássica de esquematizar os sistemas de gerência de pavimentos como um conjunto de módulos conectados, no qual todas as funções são importantes para o sistema, possibilitando a definição de uma seqüência de

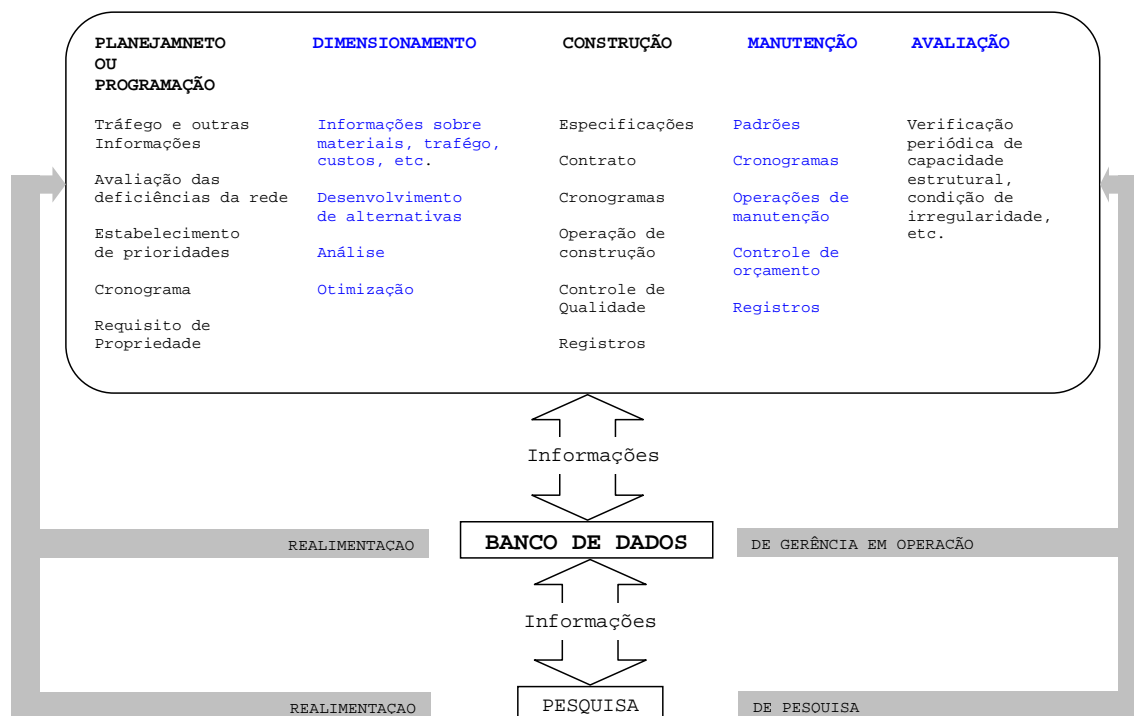
desenvolvimento das atividades de forma a ordenar a solução de cada etapa, independente do nível de gerência adotado.



**FIG. 3.1 Esquema Clássico de um Sistema de Gerência de Pavimentos**  
 Fonte: Hass et al (1994)

Pode-se notar que existe uma similaridade entre o Esquema do SGP (Sistema de Gerência de Pavimentos) proposto por Hass (FIG. 3.1) e o utilizado pelo DNER na FIG. 3.2.

Segundo o Guia de Gerência de Pavimentos do DNER, um Sistema de Gerência de Pavimentos compreende um vasto espectro de atividades, incluindo o Planejamento ou Programação de investimentos, o Dimensionamento, a Construção, a Manutenção e Avaliação periódica de comportamento do pavimento. Uma outra atividade importante é a pesquisa.



**FIG. 3.2 Principais Atividades de um SGP**  
**Fonte: DNER (1983)**

### 3.5 EVOLUÇÃO DA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Segundo Hass (2001), em meados da década de 60, a gerência de pavimentos era um processo baseado na integração de princípios de sistemas, técnicas de engenharia e avaliação econômica. Sendo que os primeiros estudos neste sentido foram realizados entre 1958-61, pela "AASHO Road Test" e pesquisadores associados, como contribuição para a base da gerência de pavimentos e conceituaram o Índice de Serventia do Pavimento, a modelagem matemática para o cálculo da irregularidade, o eixo equivalente de carga, entre outros.

Desde os primeiros estudos da "AASHO Road Test" até o momento, desenvolveram-se programas que foram aperfeiçoados e atualizados até o programa HDM-4. Listam-se alguns destes predecessores na TAB. 3.1:

**TAB. 3.1 Predecessores do HDM-4**

<b>Modelos</b>	<b>Ano</b>
Highway Cost Model	1971
RTIM	1977
HDM	1979
RTIM2	1982
RTIM2 PC Versão PC	1985
HDM III	1987
HDM III Versão PC	1989
RTIM3 planilhas	1995
HDM-Q	1994
<i>HDM Manager</i>	1994
HDM-4	1999

**Fonte: Robertson (1999)**

Como informação, a seguir são descritos alguns destes programas, inclusive o HDM-4, programa no qual este trabalho terá como base.

### 3.5.1 RTIM (ROAD TRANSPORT INVESTMENT MODEL)

O RTIM (Road Transport Investment Model), distribuído em 1993, foi desenvolvido pelo "Overseas Center of the Transport Research Laboratory" do Reino Unido.

Este programa é utilizado para a avaliação econômica em rodovias de países em desenvolvimento, compara os gastos com manutenção e recuperação da estrada com o custo operacional durante a vida da rodovia. Segundo CUNDILL e WITHNALL (1993), os principais elementos do modelo são a relação de deterioração da rodovia, que calcula como a condição do pavimento muda durante a vida da rodovia e a relação de custo operacional dos veículos, que calcula como o custo do usuário pode variar com o estado da rodovia.

### 3.5.2 RED (ROAD ECONOMIC DECISION MODEL)

O RED é um produto do RMI (Road Management Initiative), desenvolvido por Archondo-Callao, e teve sua primeira versão distribuída em 1999, como parte do Programa Sub Saharan Africa Transport Policy (SSATP), sendo sua última versão distribuída em 2003 com o objetivo principal de diminuir a quantidade de informações necessárias para realizar a análise econômica de várias alternativas de manutenção.

Pode-se dizer que o RED é um HDM simplificado, onde os modelos usados para a análise são bastante semelhantes e que são indicados preferencialmente para rodovias de baixo volume de tráfego de países em desenvolvimento.

Segundo CALLAO (2003), o RED apresenta as seguintes características na avaliação econômica de investimentos e manutenção de rodovias de baixo volume de tráfego:

- a) Reduz a quantidade de dados de entrada exigida pelo HDM;
- b) Leva em consideração a grande incerteza na previsão da avaliação do tráfego, das condições da estrada e de futuras manutenções de estradas não pavimentadas;
- c) Considera os períodos intransitáveis durante o ano;
- d) Considera o grande potencial de influência da rodovia no desenvolvimento econômico da região;
- e) Utiliza parâmetros alternativos de irregularidade de rodovia para definição do nível de serviço de rodovias de baixo volume de tráfego.

O modelo é apresentado em uma série de planilhas do Microsoft® Excel, que obtém toda a entrada de dados e apresenta os resultados de uma maneira bastante "amigável" e simples,

permitindo também que sejam realizadas análises de risco e sensibilidade. O RED é composto por quatro módulos que são:

- HDM-4 VOC - Computa, para um determinado país, Custo Operacional dos Veículos e a velocidade como função da rugosidade considerando nove diferentes tipos de terreno e nove tipos de rodovias e nove tipos de veículos. Possui três planilhas para entrada dos dados: Dados básicos de entrada (TAB. 3.2), quando necessário utiliza-se a planilha "Dados para calibração" para entrada dos dados de calibração;

**TAB. 3.2 Dados básicos de entrada do modulo HDM-4 VOC**

Basic Input Data

<b>Country/Region</b>		North Region				<b>Currency Name</b>		US\$
<b>Year</b>		2002				<b>Exchange Rate Divider to US\$</b>		1.00

Terrain Types						Road Characteristics	
Code	Description	Rise & Fall (m/km)	Horizontal Curvature (deg/km)	Number of Rises & Falls (#)	Super_elevation (%)	Altitude (m)	
A	Flat	10	50	1	2	500.0	
B	Rolling	20	150	1	2	20.0	
C	Mountainous	40	300	1	2	0.0	
						Percent Time Driven on Water	0.0
						Percent Time Driven on Snow	0.69
						Texture Depth (mm)	

Road Types							
Code	Description	Surface Type 1.Bituminous 2.Concrete 3-Unsealed	Carriageway Width (m)	Speed Limit (km/hour)	Speed Limit Enforcement (#)	Roadside Friction (#)	NMT Friction (#)
X	Paved	1	7.0	100.0	1.1	1.0	1.0
Y	Gravel	3	6.0	80.0	1.1	1.0	1.0
Z	Earth	3	5.0	70.0	1.1	1.0	1.0

Vehicle Types			
Code	Description	Number of Wheels	Number of Axles
1	Car Medium	4	2
2	Goods Vehicle	4	2
3	Bus Light	4	2
4	Bus Medium	6	2
5	Bus Heavy	10	3
6	Truck Light	4	2
7	Truck Medium	6	2
8	Truck Heavy	10	3
9	Truck Articulated	18	5

Vehicle Fleet Characteristics									
	Car Medium	Goods Vehicle	Bus Light	Bus Medium	Bus Heavy	Truck Light	Truck Medium	Truck Heavy	Truck Articulated
<b>Economic Unit Costs</b>									
New Vehicle Cost (\$/vehicle)	10000	14000	20000	35000	50000	26000	42000	60000	89000
Fuel Cost (\$/liter for MT, \$/MJ for NMT)	0.30	0.30	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
Lubricant Cost (\$/liter)	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
New Tire Cost (\$/tire)	45.00	75.00	220.00	220.00	220.00	170.00	255.00	255.00	320.00
Maintenance Labor Cost (\$/hour)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Crew Cost (\$/hour)	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Interest Rate (%)	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
<b>Utilization and Loading</b>									
Kilometers Driven per Year (km)	18000	35000	80000	80000	80000	50000	50000	70000	80000
Hours Driven per Year (hr)	500	1100	2000	2000	2000	1300	1800	2000	2000
Service Life (years)	10	9	9	9	9	9	10	10	10
Percent of Time for Private Use (%)	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gross Vehicle Weight (tons)	1.20	2.00	3.00	6.00	11.00	6.00	12.00	20.00	30.00

**Reference Vehicle Adopted to Estimate Roughness as a Function of Speed of Reference Vehicle**

Car Medium

Fonte: CALLAO (2003)

- MAIN - é o modulo principal e executa a avaliação econômica de até três projetos para a rodovia. Planilha para entrada dos dados: Controle e Setup (TAB. 3.3);

**TAB. 3.3 Entrada de Dados de Controle e Setup do Módulo MAIN**

### Control Data

Country Name	Africa Region
Project Name	Road Management Initiative
Road Identification Code	CS1
Road Name	Case Study 1
Currency Name	Dollars
Currency Symbol	\$
Duration of the Wet Season (days)	0
Evaluation Date	janeiro 1, 2002
Road Agency Economic Costs Factor	0,85
Discount Rate (%)	12%
Evaluation Period (years)	20
Initial Calendar Year	2002
Population Served (persons)	1000

### Setup Data

	Name of Each Vehicle Type (two words max.)
Vehicle Type 1	Car Medium
Vehicle Type 2	Goods Vehicle
Vehicle Type 3	Bus Light
Vehicle Type 4	Bus Medium
Vehicle Type 5	Bus Heavy
Vehicle Type 6	Truck Light
Vehicle Type 7	Truck Medium
Vehicle Type 8	Truck Heavy
Vehicle Type 9	Truck Articulated

	Name of Each Terrain Type
Terrain Type A	Flat
Terrain Type B	Rolling
Terrain Type C	Mountainous

	Name of Each Road Type
Road Type X	Paved
Road Type Y	Gravel
Road Type Z	Earth

Road Condition Indicator Option	<input checked="" type="radio"/> Roughness <input type="radio"/> Speed of a Reference Vehicle <input type="radio"/> Both Roughness and Speeds of Vehicle Fleet
---------------------------------	---

**Fonte: CALLAO (2003)**



- RISK - Neste módulo são inseridos os fatores de incerteza presentes na estimativa dos parâmetros de entrada. Possui duas planilhas para entrada dos dados: Dados básicos de entrada (TAB. 3.4), processar os resultados.

TAB. 3.4 Dados básicos de entrada do módulo Análise de Risco

<u>Risk Analysis Basic Input Data</u>						
		Triangular Distributions				
		Multiplying Factors				
Variable Number	Variable Description	Minimum Possible Value	Model Input Value	Maximum Possible Value	Probability Value < 1 (%)	Probal Value (%)
1	Normal Traffic (vpd)					
2	Normal Traffic Growth Rate (%)					
3	Generated Traffic (vpd)					
4	Induced Traffic (vpd)					
5	Passenger Time Costs (\$/hr)					
6	Cargo Time Costs (\$/hr)					
7	Wet Season Duration (days)					
8	Without Project Dry Season Length (km)					
9	Without Project Dry Season Roughness (IRI)					
10	Without Project Wet Season Length (km)					
11	Without Project Wet Season Roughness (IRI)					
12	Without Project Accidents Rate (#/m veh-km)					
13	Without Project Investment Costs (000\$/km)					
14	Without Project Maintenance Costs (000/km/yr)					
15	Project Dry Season Road Length (km)					
16	Project Dry Season Roughness (IRI)					
17	Project Wet Season Road Length (km)					
18	Project Wet Season Roughness (IRI)					
19	Project Accidents Rate (#/m veh-km)					
20	Project Investment Costs (000\$/km)					
21	Project Maintenance Costs (000/km/yr)					

Fonte: CALLAO (2003)

- PROGRAM - neste modulo é possível avaliar mais de uma rodovia por vez e obtém os resultados correspondentes para cada rodovia bem como os indicadores econômicos. Possui uma planilha de entrada: RED entradas.

O RED analisa uma rodovia de cada vez, comparando até três alternativas de projeto com a situação "nada fazer", indicando através do VPL (Valor Presente Liquido) e da TIR (Taxa Interna de Retorno), a melhor alternativa de manutenção para a

rodovia. Tem sido muito utilizado na avaliação econômica de rodovias de baixo volume de tráfego de países africanos.

### 3.5.3 DETOUR (DETERIORATION OF ENGINEERED UNPAVED ROADS)

É um programa desenvolvido no Microsoft® Excel, por engenheiros do Banco Mundial, para o planejamento e análise econômica da conservação de estradas não-pavimentadas, denominado DETOUR - Version 1.0, distribuído em 1999.

O programa que utiliza as equações do HDM fornece dados técnicos e econômicos para vários cenários de condições ambientais, políticas de manutenção e tráfego estimado para a estrada, permitindo a análise do problema do planejamento e da conservação das rodovias não-pavimentadas de modo bastante objetivo.

Segundo CALLAO (1999), os dados de entrada, a serem fornecidos ao programa, serão digitados nas colunas destacadas em amarelo e abrangem os seguintes aspectos ( TAB. 3.5):

- Características Ambientais, Geométricas e de Tráfego;
- Características da Camada de Cascalho (Revestimento Primário);
- Características da Camada de Terra (Subleito);
- Política de Manutenção Rotineira;
- Política de Manutenção Periódica;
- Fatores de Calibração para Perda do Material.

TAB. 3.5 Entrada de dados relativos a rodovia

DETOUR - Deterioration of Engineered Unpaved Roads - Version 1.0			
<b>Entrada</b>	<b>Nome da Estrada</b>	Aracui - Estrela do Norte	
	<b>Caract. Ambientais, Geométricas, Tráfego</b>		
	Largura (m)	6.0	Precip. Pluviométrica (m/mês) 0.1
	Subidas mais Descidas (m/km)	25	Largura do acostamento (m) 0.0
	Veículos leves, por dia, PBT < 3,5 ton	50	Curvatura horizontal (grau/km) 150
	Veículos pesados, por dia, PBT > 3,5 ton	20	Taxa cresc. veículos leves (%) 2%
			Taxa cresc. veículos pesados(%) 2%
	<b>Características da camada de cascalho</b>		
	Irregularidade máxima (IRI)		0
	Espessura (mm)	100	Diâmetro máx das partículas (mm) 5.0
	Idade (anos)	1	Índice de Plasticidade (#) 12.0
	Compactação mecânica [(Y)Sim / (N)Não]	N	% passando 2,000 mm (no 10) 51.1
	Irregularidade atual (IRI)	0	% passando 0,425 mm (no 40) 41.6
	Irregularidade mínima (IRI)	0	% passando 0,075 mm (no 200) 25.5
	<b>Caract da camada de terra (subleito)</b>		
	Irregularidade mínima (IRI)	0	Índice de Plasticidade (#) 20.0
	Irregularidade máxima (IRI)	0	% passando 2,000 mm (no 10) 80.5
	Diâmetro máximo das partículas (mm)	2.0	% passando 0,425 mm (no 40) 74.0
			% passando 0,075 mm (no 200) 60.2
	<b>Política de manutenção rotineira</b>		
	Intervalo para regularização (dias)	365	Material de Reposição. (m3/km/ano) 5
	<b>Política de manutenção periódica</b>		
	Esp cam. nova casc. sobre a exist. (mm)	50	Irregularidade máxima (IRI) 0
	Esp de camada nova de cascalho (mm)	100	Diâmetro máx das Partículas(mm) 2.0
	Compactação mecânica [(Y)Sim / (N)Não]	N	Índice de Plasticidade (#) 20.0
	Irregularidade inicial (IRI)	0	% passando 2,000 mm (no 10) 51.1
	Irregularidade mínima (IRI)	0	% passando 0,425 mm (no 40) 41.6
			% passando 0,075 mm (no 200) 25.5
	<b>Perda de Material (calibração)</b>		
	Fator de perda do cascalho	1.2	Fator perda do cascalho/tráfego 1.3

Fonte: CALLAO (1999)

As saídas do Programa apresentadas são:

- Análise da evolução de tráfego, da irregularidade e da espessura e duração (em anos) da camada de cascalho (revestimento primário), isto é, análise da superfície de rolamento da estrada de terra conservada;
- Análise econômica ao longo de um determinado tempo (em anos) discriminando os custos da Agência, dos usuários e da sociedade;
- Análise de sensibilidade dos custos para diversos níveis de manutenção;
- Curvas granulométricas do solo do subleito e da camada de cascalho (revestimento primário).

#### 3.5.4 HDM (HIGHWAY DEVELOPMENT MANAGEMENT)

O HDM, de acordo com ODOKY E KERALY (1999), é uma ferramenta utilizada para avaliar aspectos técnicos e econômicos dos projetos de intervenção em rodovias. Esta ferramenta proporciona facilidades para armazenar características da rede de rodovias, dos tipos de veículos e intervenções. As análises disponíveis são: análise de projeto - avaliação econômica de projetos individuais e opções de intervenção; análise de programa - preparação de programas de trabalhos ordenados por prioridade, nos quais se definem e são selecionadas as alternativas de intervenção sujeitas às restrições de recursos e análise estratégica - é a análise de uma rede de rodovias em sua totalidade.

Segundo MRAWIRA et al. (1999), o HDM é uma ferramenta para avaliar e analisar opções de manutenção e reabilitação, permitindo comparar as políticas ou padrões de intervenção ou manutenção. O modelo estima detalhadamente o ciclo da deterioração do pavimento, custo da agência e custos dos usuários para diferentes alternativas de projeto e manutenção, e então, fornece um racional e consistente critério de decisão econômico para técnicos e políticos.

O HDM começou a ser desenvolvido em 1968, a partir de um estudo experimental realizado no Kênia, com apoio do Banco Mundial, através do qual foram elaboradas as equações de previsão que compõem o RTIM (Road Transport Investment Model) é a primeira versão do HDM. Mais tarde, o Banco Mundial financiou novas pesquisas realizadas no Caribe, Índia e no Brasil (PICR). Com os resultados dessas pesquisas, as equações do RTIM foram aprimoradas e em 1987 foi elaborada a terceira versão do HDM. A quarta versão do HDM foi distribuída em 1999

e incorpora os resultados das pesquisas desenvolvidas neste período.

Segundo Carvalho et al. (1996), as principais aplicações do HDM são:

No **planejamento rodoviário**, o modelo é utilizado como suporte analítico para justificar solicitações de fundos e para previsão das necessidades financeiras e físicas, objetivando a preservação da rede de rodovias;

Nas **aplicações técnicas**, o modelo auxilia na determinação de estratégias ótimas de manutenção e de limiares econômicos para melhoramento das rodovias, na escolha de opções de projeto de manutenção e, ainda, na simulação do tipo e magnitude da deterioração provável do pavimento.

Quanto à **aplicação econômica**, o modelo facilita a análise da atribuição dos custos e das despesas relativas ao uso das rodovias, no estabelecimento de preços e taxações do transporte rodoviário.

Segundo Heyn et al. (1995), o modelo HDM, entre outras coisas, é capaz de:

- Simular a evolução da deterioração de um pavimento (irregularidade longitudinal, porcentagem de área deteriorada e o afundamento das trilhas de roda) em função de suas condições superficiais, funcionais, estruturais e da agressividade do tráfego que o solicita;
- Prever o custo operacional de veículos que utilizam uma rodovia em função de suas características geométricas e da qualidade de rolamento fornecida por seu pavimento.

Carvalho et al. (1996) explicam que o HDM-4 é uma atualização do HDM-3 (distribuído em 1987), patrocinado pelos

institutos de pesquisa: Overseas Development Administration, Asian Development Bank, Swedish National Road Administration e The World Bank, que têm, dentre outros objetivos:

- Incorporar outros tipos de pavimentos (pavimentos de concreto);
- Considerar os pavimentos de asfalto em climas frios;
- Atualizar as características da frota de veículos;
- Considerar aspectos de segurança e meio-ambiente;
- Considerar os efeitos de congestionamento.

Segundo MRAWIRA e HAAS (1996), são dados de entrada para executar o HDM: as condições atuais dos pavimentos das rodovias (extensões, estrutura, volume de tráfego, defeitos, irregularidade, geometria, largura da pista, largura do acostamento, declividades médias, índice de curvatura, entre outros), condições climáticas e de topografia, idade do pavimento, idade da última restauração, dados da frota nacional (tipo de veículos, peso, custos de aquisição e de manutenção e custo do combustível), as políticas de intervenção (tipo de manutenção ou restauração e custo) e os cenários de investimento. Algumas telas de entrada do programa são apresentadas nas FIG. 3.3, FIG. 3.4, FIG. 3.5, FIG. 3.6, FIG. 3.7 abaixo.

Section: Capital City to Border

Definition | Geometry | Pavement | Condition

Section Name: Capital City to Border Length: 50 km  
 Section ID: A001-01 Carriageway width: 8 m  
 Link Name: Link 05 Shoulder width: 1 m  
 Link ID: TL-05 Number of Lanes: 2

Speed flow type: Two Lane Road  
 Traffic flow pattern: Commuter  
 Climate zone: North Region  
 Road class: Primary or Trunk  
 Surface class: Bituminous  
 Pavement Type: Surface Treatment on Asphalt Pavement

Traffic  
 Motorised: 8000 AADT  
 NMT: 0 AADT  
 Year: 1998  
 Flow direction: Two-way

Details... OK Cancel

Name of section

FIG. 3.3 Entrada de Dados HDM - Definição da Seção

Section: Capital City to Border

Definition | Geometry | Pavement | Condition

Rise + Fall: 20 m/km  
 Avg horiz curvature: 75 deg/km  
 Speed limit: 100 km/h  
 Altitude: 1 m  
 Drain type: No drainage effects

Details... OK Cancel

Average road Rise plus Fall

FIG. 3.4 Entrada de Dados HDM - Geometria da Seção

Section: Capital City to Border

Definition | Geometry | Pavement | Condition

Surfacing  
 Material type: Double Bituminous Surface Dr  
 Most recent surfacing thickness: 25 mm  
 Previous/old surfacing thickness: 100 mm

Previous works (HDM-4 Work Types)  
 Last reconstruction or new construction: 1988 year  
 Last rehabilitation (overlay): 1992 year  
 Last resurfacing (resealing): 1995 year  
 Last preventative treatment: 1995 year

Strength  
 Calculated Wet season model parameters  
 SNP: 4.75 DEF: 0.54 mm  
 [1] Structural Number: 3.7  
 Subgrade CBR: 8 %  
 Dry Season  Wet Season  
 [2] Calculated SNP: Calculate SNP...

Road base (for stabilised base only)  
 Base thickness: mm  
 Resilient modulus: GPa

Details... OK Cancel

Surface material

FIG. 3.5 Entrada de Dados HDM - História do Pavimento

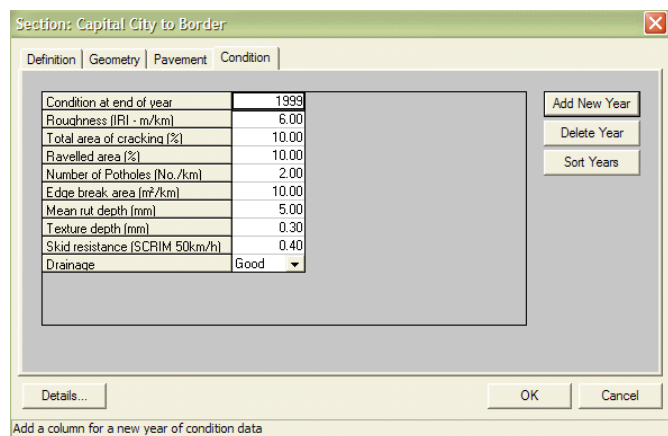


FIG. 3.6 Entrada de Dados HDM - Condição do Pavimento

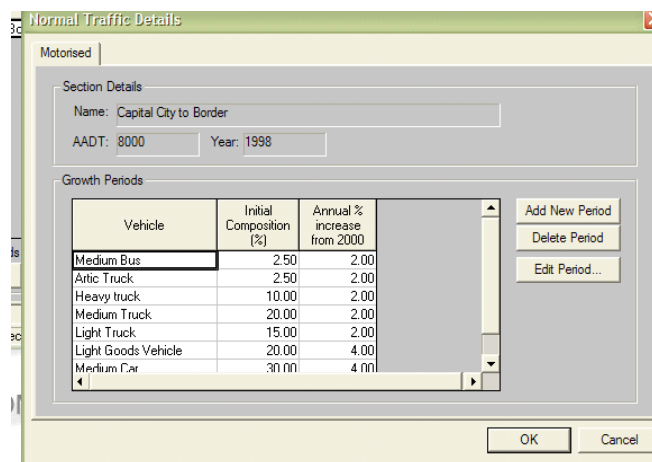


FIG. 3.7 Entrada de Dados HDM - Detalhes do Tráfego

O HDM fornece informações quanto ao desempenho anual do pavimento, custos dos usuários, custos anuais de manutenção no trecho e informações econômicas relativas a cada alternativa analisada quando comparada a outras de menores investimentos (VPL - Valor Presente Líquido e TIR - Taxa Interna de Retorno).

### 3.6 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Foram apresentados alguns dos softwares que auxiliam os planejadores na Gerência de Pavimentos, desde os primeiros até o mais atual, HDM-4.

Foi observado que a utilização do Sistema de Gerência de Pavimentos contribui para uma melhor alocação dos recursos



disponíveis, pois é possível prever quanto será necessário e onde devem ser aplicados os recursos disponíveis.

Para a programação e uso eficiente dos recursos de conservação, os Sistemas de Gerência de Pavimentos fazem previsão da condição futura dos pavimentos que compõem determinada rede rodoviária; com base nesta previsão e nas opções de manutenção, auxiliam na determinação da estratégia ótima.

O desenvolvimento dos Sistemas de Gerência de Pavimentos está associado à evolução das pesquisas em pavimentação, que poderão propor novas técnicas e materiais que auxiliam no prolongamento da vida útil do pavimento.

Os Sistemas de Gerência de Pavimentos estão estruturados em módulos interligados, que devem estar em constante atualização para que o sistema esteja adequado às inovações tecnológicas da pavimentação.

No capítulo a seguir, serão apresentados os módulos do Sistema de Gerência de Pavimentos e suas descrições.

## 4 ETAPAS DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

### 4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo serão apresentados os principais componentes de um Sistema de Gerência de Pavimentos, pela descrição da composição do Banco de Dados, dos tipos de avaliação de pavimentos, a definição de deterioração do pavimento e tipos de deterioração e a avaliação econômica das alternativas de manutenção/reabilitação para a rodovia.

Apresentar-se-ão também modelos de previsão de desempenho dos pavimentos, parte importante nos Sistema de Gerência de Pavimentos para melhor programação dos investimentos.

### 4.2 BASE DE DADOS

Segundo MARCON(1996), uma atividade importante no Sistema de Gerência de Pavimentos é a coleta de dados, porque as decisões e análises necessárias são baseadas nas informações e dados coletados. Por isso, é necessário que as informações sejam compreensíveis, confiáveis, de fácil obtenção e de baixo custo.

De acordo com HASS et al (1989), as principais classes de dados de pavimentos são as seguintes:

- Desempenho: irregularidade, defeitos de superfície, atrito, medidas defletométricas e propriedades dos materiais das camadas;
- História: construção, manutenção, tráfego e de acidentes;
- Custos: construção, manutenção, reabilitação e dos usuários;

- Geometria: dimensão da seção, curvas, inclinação transversal e longitudinal, degraus e acostamentos/meio-fio;
- Meio ambiente: drenagem e clima.

#### 4.3 AVALIAÇÃO DOS PAVIMENTOS

A avaliação de pavimentos também é uma atividade importante no processo de gerência, já que por meio dessas avaliações são estabelecidos os modelos de previsão de desempenho e são definidas as estratégias de manutenção e restauração.

A deterioração pode ser considerada como o fenômeno que rege a mudança da condição do pavimento. O entendimento dos mecanismos que governam este processo de deterioração será condição fundamental para a identificação das causas que o levaram à condição atual, bem como para a escolha e programação da técnica mais adequada para sua reabilitação (DNER, 1998).

O acompanhamento das condições do pavimento pode ser conceituado como conjunto de operações a serem empreendidas para a coleta de dados relativos ao estado de conservação de rodovias que, aliado às características históricas, gera um banco de dados para ser empregado num sistema de avaliação e gerência de pavimentos ao longo do tempo (DOMINGUES et al, 1996). Essa avaliação da condição do pavimento pode ser dividida em dois tipos:

##### ➤ Condições Funcionais

Este levantamento tem por objetivo principal avaliar o estado funcional dos pavimentos da rodovia: as degradações superficiais e as irregularidades longitudinais.

##### ➤ Condições Estruturais

É feito com o objetivo de estudar a deformação do conjunto pavimento-solo do subleito, utilizando processos destrutivos ou não-destrutivos, que compreendem basicamente o estudo de **deformação elástica**.

A avaliação dos defeitos de condição de um pavimento tem importantes aplicações no processo da gerência de pavimentos, na caracterização do desempenho dos pavimentos, na definição de serviços de manutenção para prevenir deterioração acelerada ou no estabelecimento de medidas de restauração. Os levantamentos de defeitos, em geral, incluem:

- A identificação do tipo de defeito;
- A classificação da severidade que o mesmo apresenta;
- Uma forma de medição de sua extensão ou densidade;
- Em alguns casos, a indicação de sua localização.

Os defeitos do pavimento estão relacionados normalmente com a ação do tráfego e as condições ambientais. Na TAB. 4.1 abaixo, apresentam-se as três principais categorias de defeitos e suas causas.

**TAB. 4.1 Categoria de Defeitos nos Pavimentos**

<b>Categoria do Defeito</b>	<b>Causa Genérica</b>	<b>Causa Específica</b>
<i>Trincamento</i>	Associada com o tráfego	Cargas repetidas Carga Excessiva Escorregamento de capa
	Não associado com o tráfego	Mudanças de umidade Mudanças térmicas Retração (Propagação)
<i>Deformação</i>	Associada com o Tráfego	Carga excessiva (Cisalhamento) Fluência plástica Densificação (Compactação)
	Não associado com o tráfego	Expansão Consolidação de substratos
<i>Desagregação</i>	Associada com o tráfego	Desagregação do agregado
	Não associado com o tráfego	Falta de qualidade dos materiais

**Fonte: DNER 1998**

#### 4.4 MODELOS DE PREVISÃO DO DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS

Os modelos de previsão são uma descrição matemática dos valores esperados que uma característica dos pavimentos irá adquirir durante um período de análise especificado. Tais modelos são elaborados com base nos dados existentes, por isso esses dados devem ter boa representatividade e acurácia.

Os modelos de desempenho devem refletir as condições as quais eles são aplicados e devem ser resolvidos a partir de dados locais ou modificados e comprovados (QUEIROZ, 1984).

Esses modelos de desempenho são ferramentas utilizadas para:

- Previsão da condição da seção do pavimento ao longo do tempo, vitais para o planejamento de atividades de manutenção e reabilitação;
- Estimativa dos recursos necessários para a preservação do pavimento;
- Análise econômica dos custos gerados durante o ciclo de vida do pavimento.

De acordo com ESSE e RODRIGUES(2003), os modelos de previsão de desempenho podem ser empíricos ou mecanístico-empíricos. Os modelos empíricos são simples correlações entre o desempenho do pavimento e alguns parâmetros explicativos, referentes ao tráfego e à estrutura do pavimento; por exemplo, sintetizam o que foi observado em um determinado conjunto de seções experimentais. Os modelos mecanístico-empíricos utilizam o universo de dados experimentais apenas para efeito de sua calibração e não para o seu desenvolvimento, na medida em que sua forma é ditada por leis da Mecânica. É necessário ou desejável, contudo, que a parte teórica desses modelos seja

coerente com o que é observado em experimentos planejados onde existe um alto grau de controle dos parâmetros envolvidos (ensaios de laboratório em modelos reduzidos, pistas circulares). Caso contrário, os fatores de calibração terão pouco significado e as previsões do modelo final terão baixa confiabilidade.

Dentre os tipos de modelos existentes, os mais comuns são aqueles obtidos por regressão, a partir de uma base de dados elaborada com os resultados de coletas periódicas, como o estudo "Pesquisa de Inter-Relacionamento dos Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias" realizado no Brasil pelo PIARC (Permanent International Association of Road Congresses), entre 1977 e 1981.

Descrevem-se, nas próximas seções, alguns dos Modelos de Previsão de Desempenho conhecidos e utilizados, começando pelo modelo da AASHTO, passando pela pesquisa realizada no Brasil, a PICR e terminando com o estudo de PATERSON (1987), utilizado no modelo de previsão de desempenho do HDM-3.

#### 4.4.1 MODELO DE DESEMPENHO DA AASHTO

O modelo da AASHTO, segundo PATERSON (1987), é baseado no seu Guia de Projetos (1981) e resume o modelo de previsão da perda da serventia, que é relacionado com a rugosidade na escala do IRI de 0 a 8m/km, em termos de dimensionamento da função de defeitos. Esta função expressa a fração da perda da serventia entre as condições: "novo" (construção original) e "final" (critério de seleção para a reabilitação).

#### 4.4.1.1 Função da Serventia

A função adotada pela "AASHO Road Test" expressa a deterioração como fração da perda da serventia relativa a um determinado limite da serventia para as condições de novo e final e expressa o dano para o carregamento de tráfego como segue:

$$g_t = \left( \frac{N_t}{\rho} \right)^\beta \dots \dots \dots \text{EQ. 4.1}$$

Onde:

$g_t$  = dano no tempo  $t$ ,

0 - para nova construção e

1 - para condição final;

$$g_t = \frac{(P_0 - P_t)}{P_0 - P_r} ;$$

$P_0$  = Serventia inicial;

$P_t$  = Serventia no tempo  $t$ ;

$P_r$  = Serventia final, em que a reabilitação é pedida;

$N_t$  = número da carga de eixo aplicadas no tempo  $t$ ;

$\beta$  = uma função do projeto e variáveis de carregamento que influencia a forma da curva da serventia  $p$  versus  $N$ ; e

$\rho$  = uma função do projeto e variáveis de carregamento que denota o número esperado de eixos aplicados para o índice da serventia.

#### 4.4.1.2 Índice de Serventia

A avaliação da serventia é realizada por um grupo de engenheiros, utilizando uma escala de 0 ( muito ruim) a 5 ( excelente) e, quando correlacionada às medidas físicas da condição do pavimento, fornece a seguinte definição para "índice de serventia":

$$p = 5.03 - 1.91 \times \log(1 + SV) - 0.1 \times \sqrt{(C + P) - 1.38 \times RD^2} \quad .EQ. 4.2$$

Onde:

p - índice de serventia;

SV - menor variação de inclinação nas duas trilhas de rodas  
 $\times 10^6$

(C+P) - medida da área de trincas e remendos na superfície do pavimento;

RD - profundidade média da trilha de roda.

#### 4.4.2 METODOLOGIA ADOTADA PELA PESQUISA DE INTER-RELACIONAMENTO DOS CUSTOS RODOVIÁRIOS (PICR)

Na pesquisa da PICR, o estudo do desempenho dos pavimentos foi realizado através do acompanhamento de trechos selecionados, nos quais foram observados o surgimento e a evolução dos defeitos por meio de variáveis selecionadas.

##### 4.4.2.1 Trincamento

Para a análise do trincamento, foi realizado um acompanhamento da área trincada em trechos testes escolhidos nas rodovias existentes. Considerou-se necessário desenvolver



dois tipos de modelo para este defeito, um para prever quando as trincas surgem pela primeira vez e outro para prever a rapidez com que elas progridem. Essa necessidade, segundo GEIPOT (1982), foi identificada por Finn ao afirmar que para uma avaliação de trincamento ser útil, ela não deve compreender somente uma estimativa do início de trincamento, mas também o ritmo de progressão das trincas com o tempo. Na PICR, o início do trincamento é previsto pelo número de eixos equivalentes cumulativos que o pavimento poderá suportar até que surja a primeira trinca. A previsão é dada pela seguinte equação:

$$LN = 1,025 + 5,96 \times \log SNC \dots\dots\dots EQ. 4.3$$

Onde:

LN = Log N = logaritmo decimal do número de eixos equivalentes (80 KN) acumulados;

SNC = número estrutural corrigido.

Para a Progressão das trincas, além da idade do pavimento e do tráfego, as variáveis independentes incluem Deflexão Viga Benkelman, Deflexão Dynaflect ou Número Estrutural Corrigido. Sendo que a previsão é feita por uma das três equações abaixo, dependendo das variáveis disponíveis.

$$CR = -18.53 + 0.0456 \times B \times LN + 0.00501 \times B \times A \times LN \dots\dots EQ.4.4$$

$$CR = -14.10 + 2.84 \times D \times LN + 0.0395 \times D \times A \times LN \dots\dots EQ.4.5$$

$$CR = -57.70 + 53.50 \times \frac{LN}{SNC} + 0.313 \times A \times LN \dots\dots EQ.4.6$$

Onde:

CR = Porcentagem de área trincada;

B = Deflexão média pela viga Benkelman (0,01 mm);

D = Deflexão média pelo Dynaflect (0,001 polegadas);

A = Número de anos desde a construção ou recapeamento.

#### 4.4.2.2 Irregularidade

Na PICR, segundo QUEIROZ (1982), foram gerados cinco modelos para estimar a irregularidade em função da idade do pavimento e das cargas equivalentes cumulativas por eixo, além de uma ou duas das seguintes variáveis estruturais: número estrutural corrigido, deflexão da viga Benkelman ou deflexão do Dynaflect.

$$LQI = 1.478 - 0.13 \times RH + 0.00795 \times A + 0.0224 \times \left( \frac{LN}{SNC} \right)^2 \dots\dots EQ.4.7$$

$$QI = 21.8 - 7.52 \times RH + 5.165 \times ST + 7.22 \times 10^{-5} \times (LN \times B)^2 \dots EQ.4.8$$

$$LQI = 1.4391 - 0.1315 \times RH + 0.414 \times P + 0.00751 \times A + \dots\dots EQ.4.9$$
$$0.0248 \times D \times LN$$

$$QI = 12.63 - 5.16 \times RH - 3.31 \times ST + 0.393 \times A + 8.66 \times \left( \frac{LN}{SNC} \right) + 7.14 \times 10^{-5} \times (B \times LN)^2 \dots\dots EQ.4.10$$

$$LQI = 1.299 - 0.107 \times RH - 0.0415 \times P + 0.00623 \times A + \dots\dots EQ.4.11$$
$$0.0856 \times \left( \frac{LN}{SNC} \right) + 0.0230 \times D \times LN$$

Onde:

LQI = log QI;

QI = Valor da Irregularidade (contagens/Km);

RH = Variável indicadora do estado de restauração:

0 - como construído;

1 - se recapeado;

ST = Variável indicadora de tipo de revestimento:

0 - para concreto asfáltico;

1 - para tratamento superficial duplo;

P = Porcentagem da área do pavimento que recebeu reparos, sob a forma de remendos profundos.

#### 4.4.2.3 Afundamento de Trilha de Roda

No estudo da PICR, não foi desenvolvida nenhuma equação para prever a profundidade de trilhas, pois, segundo GEIPOT (1982), a profundidade das trilhas encontradas na área de estudo era muito pequena, o que significa que o afundamento das trilhas não seria utilizado como um indicador da necessidade de conservação dos pavimentos estudados, portanto os valores obtidos a partir da base de dados disponível na ocasião da pesquisa não se enquadravam na faixa de interesse das equações práticas.

#### 4.4.3 MODELO UTILIZADO NO *HIGHWAY DESIGN AND MAINTENANCE STANDARDS MODEL* (HDM)

As equações utilizadas no "Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-3)", conforme WATANADA (1987), basearam-se em dados experimentais coletados no Brasil (PICR) e suas determinações em procedimentos estatísticos de regressão, aliados, em alguns casos, a conceitos mecânicos de comportamento de pavimentos. Mais tarde, essas equações foram

modificadas por ODOKY E KERALY (1999). A seguir, apresentam-se as equações modificadas.

#### 4.4.3.1 Trincamento

O HDM-4 trata de dois tipos de trincamento:

- Trincamento estrutural: associado ao tráfego, ao tempo e às condições ambientais;
- Trincamento longitudinal: associado às grandes variações de temperaturas que ocorrem somente em alguns climas ou por condição de gelo/degelo.

As equações para o Trincamento Estrutural se dividem em Total e Larga, são baseadas nas equações de PATERSON (1987) e apresentam-se a seguir:

- Início do trincamento total para pavimento com revestimento original:

$$TYCRA = K_{ci} \times \{CDS^2 \times a_0 \times \exp[a_1 \times SNP + a_2 \times (YE_4 / SNP^2)] + CRT\} \text{ EQ. 4.12}$$

- Início do trincamento total para pavimento sem revestimento original:

$$TYCRA = K_{ci} \times \{CDS^2 \times [\max(a_0 \times \exp[a_1 \times SNP + a_2 \times (YE_4 / SNP^2)]) * \max(1 - (PCRW/a_3), 0), a_4 \times HSNEW)] + CRT\} \dots \dots \dots \text{EQ. 4.13}$$

Onde:

TYCRA - idade média esperada para o início do trincamento estreito (1 a 3 mm);

$K_{ci}$  - fator de deterioração para o início de trincamento;

CRT - tempo estimado de retardamento do início do trincamento provocado pela manutenção, em anos;

YE<sub>4</sub> - número equivalente de operações do eixo de 8,2 ton, calculado pelo método da AASHTO com expoente 4, em milhões por faixa;

SNP - número estrutural corrigido;

CDS - fator indicador da qualidade da construção;

HSNEW - espessura do revestimento mais recente;

PCRW - área do trincamento total antes do último reforço ou reselagem.

Após o início do trincamento, a velocidade de crescimento depende da área atingida pelo defeito e do tempo decorrido desde o início do trincamento. O incremento da área de trincamento, no caso de pavimentos de concreto asfáltico, é dado pela equação, baseada no tempo:

$$\Delta ACRA_d = K_{cp} \times [CRP/CDS] \times z_a [(z_a \times a \times b \times \Delta TCRA + SCRA_a^b)^{1/b} - SCRA_a] \dots EQ. 4.14$$

Onde:

$\Delta ACRA_d$  - mudança prevista na área de trincamento, durante o ano de análise, devido à deterioração, em percentagem da área total do revestimento;

$K_{cp}$  - fator de deterioração do trincamento;

CRP - fator de retardamento da progressão do trincamento devido a tratamento preventivo, dado por:

$$CRP = 1 - 0,12CRT$$

$$Z_a = 1 \text{ se } SCRA_a < 50; \text{ caso contrário } z = -1;$$

a e b - coeficientes determinados por regressão;

TCRA - tempo de análise da mudança de trincamento, em anos;

SCRA<sub>a</sub> - valor mínimo de ACRA e 100 - ACRA;

ACRA<sub>a</sub> - percentagem de área do pavimento com trincamento total antes do ano de análise.

#### 4.4.3.2 Desprendimento de Agregados

O desprendimento de agregados pode ser definido como "a progressiva perda de material na superfície por desgaste e/ou abrasão do tráfego". (ASPHALT INSTITUTE, 1989 in N.D. LEA INTERNATIONAL, 1995) A ocorrência do desprendimento varia consideravelmente entre regiões e de país para país, de acordo com os métodos construtivos, especificações, materiais disponíveis e a prática local. O desprendimento de agregados é uma deterioração comum em construções de baixa qualidade e em revestimentos finos, por exemplo, o tratamento superficial.

PATERSON (1987) apresenta como causas principais para o desprendimento a fratura mecânica da capa de asfalto e a perda da adesão entre o ligante e a pedra.

O modelo para o início do desprendimento é, basicamente, o proposto por PATERSON (1987) e o modelo para o progresso também se baseia no proposto por PATERSON (1987), porém foi introduzida a variável tráfego por RILEY (1999). Abaixo, as equações que descrevem o início e a progressão do desprendimento de agregados.

- Início do desprendimento:

Para tratamento superficial:

$$TYRAV = k_{vi} \times CDS^2 \times a_0 \times RRF \times \exp(a_1 \times YAX) \dots \dots \dots EQ.4.20$$

- Progressão do desprendimento:

$$\Delta ARAV_d = (K_{vi} / RRF) \times (Z_r / CDS^2) \times [(Z_r \times (a_0 + a_1 \times YAX) \times a_2 \times \Delta TRAV + SRAV_a^{a_2})^{1/a_2} - SRAV_a] \dots \dots \dots EQ.4.21$$

Onde:

TYRAV - idade média esperada para início do desprendimento;

$K_{vi}$  - fator de deterioração para início do desprendimento especificado pelo usuário, default = 1;

YAX - número total de eixos em milhões por faixa;

RRF - Fator de retardo do desprendimento devido à manutenção;

$\Delta ARAV_d$  - mudança prevista na área de desprendimento durante o ano de análise, devido à deterioração, em porcentagem da área total do revestimento;

$\Delta TRAV$  - tempo de análise da mudança, em anos;

$SRAV_a$  - valor mínimo entre  $ARAV_a$  e  $100 - ARAV_a$ .

#### 4.4.3.3 Buracos

Os buracos normalmente se desenvolvem de placas soltas resultante do trincamento ou da desintegração. As relações utilizadas para previsão são empíricas, baseadas nos dados dos estudos no Caribe, Quênia e Brasil. As equações relativas ao início e progressão dos buracos foram modificadas a partir de NDLI (1995) e RILEY (1996), sendo apresentadas a seguir.

- Início dos Buracos

$$IPT = k_{pi} \times a_0 \times [(1 + a_1 \times HS) / (1 + a_2 \times CDB) \times (1 + a_3 \times YAX) \times (1 + a_4 \times MMP)] \text{EQ. 4.22}$$

Onde:

IPT - tempo desde o início do trincamento largo, desprendimento e começo dos buracos;

$k_{pi}$  - fator de calibração do início dos buracos;

HS - espessura total do pavimento;

YAX - número total de eixos de todos os tipos de veículos no ano analisado;

CDB - indicador dos defeitos de construção da base.

- Progresso dos buracos

$$\Delta NPT_i = k_{pp} \times a_0 \times ADIS_i \times TLF \times [(1 + a_1 \times CDB) \times (1 + a_2 \times YAX) \times (1 + a_3 \times MMP) / (1 + a_4 \times HS)] \dots \dots \dots \text{EQ. 4.23}$$

$$\Delta NPT = \sum \Delta NPT_i$$

Onde:

$\Delta NPT_i$  - número adicional de buracos, por quilômetro, derivados de um tipo de defeito  $i$  ( trincamento largo, desprendimento, aumento dos buracos existentes), durante o ano analisado;

$ADIS_i$  - porcentagem da área de defeitos (trincamento largo, desprendimento, aumento dos buracos existentes) no início do ano analisado;

TLF - fator de lapso do tempo;



$\Delta NPT$  - número total de buracos adicionais, por quilômetro, durante o ano analisado;

$K_{pp}$  - fator de calibração para progressão do número de buracos;

MMP - precipitação mensal média;

Outros parâmetros foram definidos anteriormente.

#### 4.4.3.4 Irregularidade

A progressão da irregularidade é prevista como a soma de três componentes: a componente estrutural, a de condição do pavimento e um termo ambiental.

A equação que descreve a componente estrutural da progressão da irregularidade é mostrada a seguir:

$$\Delta IRI_s = 134 \times \exp(m \times k_{gm} \times AGE3) (1 + SNPK_b)^{-5} \times YE4 \dots \dots \dots EQ. 4.24$$

Onde:

$\Delta IRI_s$  - o aumento previsto na irregularidade da rodovia durante o ano de análise, devido à deterioração estrutural, em m/km;

$K_{gm}$  - o fator de deterioração relativo ao meio ambiente;

AGE3 - a idade do pavimento, em anos, desde a construção ou reabilitação;

$SNPK_b$  - número estrutural corrigido ajustado ao efeito do trincamento, dado por:

$$SNPK_b = \text{Max}[(SNP_a - \Delta SNPK), 1.5] \dots \dots \dots EQ. 4.25$$

$\Delta$ SNPK - redução estimada do número estrutural devido ao trincamento do revestimento, dada por:

$$\Delta$$
SNPK =  $k_{\text{snpk}} \times 0.0000758 \times \{ \min(63, ACX_a) \times HSNEW + \max[ (\min(ACX_a - PACX, 40), 0) \times hsold] \}$  .....EQ. 4.26

$ACX_a$  - área do trincamento indexado no início do ano de análise, em porcentagem;

PACX - trincamento indexado existente nas camadas antigas de revestimento e base, em porcentagem, dada por:

$$PACX = 0,62 \times PCRA - 0,39 \times PCRW$$
 .....EQ. 4.27

PCRA - trincamento total antes do último recapeamento ou reselagem, em porcentagem;

PCRW - trincamento largo antes do último recapeamento ou reselagem, em porcentagem;

HSOLD - espessura total das camadas antigas do revestimento;

$K_{\text{snpk}}$  - fator de calibração de SNPK;

m - coeficiente de meio ambiente.

A equação que descreve a mudança na irregularidade, devido ao trincamento, é mostrada a seguir:

$$\Delta$$
IRIc = 0.0066  $\times$   $\Delta$ ACRA .....EQ. 4.28

Onde:

$\Delta$ IRIc - mudança proporcional na irregularidade, devido ao trincamento, durante o ano analisado;

$\Delta$ ACRA - área de trincamento total, em porcentagem, durante o ano analisado.

A variação proporcional na irregularidade devido a profundidade da trilha de roda se obtém da seguinte forma:

$$\Delta IRI_r = 0.088 \times \Delta RDS \dots \dots \dots EQ. 4.29$$

$\Delta IRI_r$  - variação proporcional na irregularidade devido ao afundamento durante o ano analisado;

$\Delta RDS$  - variação proporcional no desvio padrão da profundidade de roda, em mm, durante o ano analisado.

A variação na irregularidade, devido aos buracos já existentes, obtém-se da seguinte forma:

$$\Delta IRI_t = 0.00019(2-FM)[(NPT_a \times TFL + (\Delta NPT \times TFL/2)^{1.5} - NPT_a^{1.5}] \dots \dots \dots EQ. 4.30$$

onde:

FM - fator de manobra;

$\Delta IRI_t$  - variação na irregularidade, devido às áreas com buracos, durante o ano analisado;

$\Delta NPT$  - variação do número de buracos, por km, durante o ano analisado;

$NPT_a$  - número de buracos, por km, no início do ano analisado.

O componente ambiental da irregularidade se obtém como se segue:

$$\Delta IRI_e = m \times K_{gm} \times IRI_a$$

$\Delta IRI_e$  = variação devido ao fator ambiental, durante o ano analisado;

$IRI_a$  - irregularidade no início do ano analisado.

A variação total na irregularidade se calcula da seguinte forma:

$$\Delta IRI = k_{gp}[\Delta IRI_s + \Delta IRI_c + \Delta IRI_r + \Delta IRI_t] + \Delta IRI_e \dots\dots\dots EQ. 4.31$$

A irregularidade do pavimento no final do ano analisado se obtém assim:

$$IRI_b = \min[(IRI_a + \Delta IRI), 16) \dots\dots\dots EQ. 4.32$$

#### 4.5 CRITÉRIOS DE DECISÃO

Para definir qual intervenção ou tipo de atividade deve ser implementada, é necessária a definição de limites para os parâmetros do pavimento, denominados critérios de decisão. O estabelecimento destes critérios é peculiar à classe de rodovia e ao tipo de pavimento, dentre outros fatores.

#### 4.6 ANÁLISE TÉCNICA

Segundo RIBEIRO (2001), as alternativas de análise técnica envolvem o estabelecimento de metodologias apropriadas para, em face de problemas específicos apresentados pelos pavimentos e a partir de estratégias de intervenção de manutenção e reabilitação ao longo de um período pré-determinado, avaliar a resposta mecânica da estrutura e seu desempenho. Cada agência, em vista do histórico dos pavimentos da sua rede, deve estabelecer sua própria listagem de alternativas.

#### 4.7 ANÁLISE ECONÔMICA

A avaliação econômica é um importante instrumento para a tomada de decisão quanto à alocação de recursos, visando uma maior eficiência e impacto na sua utilização.

Uma Avaliação Econômica envolve quantificar o incremento dos impactos econômicos (benefícios e custos), determinar

benefícios líquidos ou valor líquido (benefícios menos custos) e a distribuição destes impactos (também chamada de incidência). Esta avaliação não está limitada a comercializar impactos, também pode incorporar recursos não-monetários como tempo pessoal, saúde e qualidade ambiental.

Várias técnicas específicas são utilizadas para avaliação econômica de transportes, abaixo estão listadas algumas:

- **Análise custo-benefício:** compara o incremento dos benefícios com o incremento dos custos. Não é limitada a um simples objetivo ou benefício. Por exemplo, alternativas podem diferir nos custos de construção e na qualidade de serviço que fornecem.
- **Análise do custo do ciclo de vida:** é a análise custo-benefício que incorpora, no tempo, o valor do dinheiro. Ela permite uma comparação entre alternativas que prevêm custos e benefícios em tempos diferentes. Por exemplo, uma opção pode valer mais por ser mais rápida de ser implementada do que outra.
- **Custo-eficácia:** compara os custos de diferentes opções para alcançar um objetivo específico, como a construção de uma estrada particular. A quantidade de produção (benefícios) é mantida constante, assim, há só uma variável, os custos da contribuição.
- **Avaliação de Contas Múltiplas:** incorpora critérios quantitativos e qualitativos, e pode ser usado quando alguns impactos não podem ser monetarizados.
- **Menor custo para planejar:** é um tipo de Análise de Benefício-Custo que considera uma administração de demanda em condições iguais, com expansão de capacidade.

- Algumas técnicas de avaliação medem impactos e resultados físicos, como: saúde, longevidade, níveis de educação, crime e satisfação pessoal com a vida, sem converter os valores em dinheiro. (COBB, HALSTEAD E ROWE, 1999; GDRC, 2000).

#### 4.8 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Neste capítulo foi fornecida uma visão de cada etapa de um Sistema de Gerência de Pavimentos.

Em um Sistema de Gerência de Pavimentos, estas etapas precisam estar interligadas e também é necessário que sejam periodicamente avaliadas.

Os modelos de previsão de desempenho também devem estar em constante aperfeiçoamento, já que dependem dos dados coletados na seção pesquisada.

No capítulo a seguir, depois de ser realizado o estudo sobre os objetivos da gerência, como é a estrutura de um Sistema de Gerência de Pavimentos, será apresentada a metodologia para a gerência de pavimentos, objeto principal desta pesquisa.

## 5 METODOLOGIA PROPOSTA PARA A GERÊNCIA DE PAVIMENTOS EM RODOVIAS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO

### 5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos capítulos precedentes, foi observada a necessidade de investimento no sistema rodoviário, os princípios de um Sistema de Gerência de Pavimentos, as etapas necessárias e os modelos de previsão de desempenho do pavimento, utilizados nos SGP.

Do que foi exposto nos capítulos anteriores, fica evidente a necessidade de uma ferramenta que auxilie os gestores na aplicação dos recursos disponíveis aos serviços de manutenção. Essa ferramenta deve ser capaz de prever a época em que devem ser realizadas as intervenções e os respectivos custos. É importante que esta ferramenta seja simples e de fácil utilização, sendo necessário, para atingir este objetivo, reduzir a quantidade de dados requeridos.

Neste capítulo será apresentada uma proposta para componentes de um sistema de gerência de pavimentos para rodovias de baixo volume de tráfego. A proposta é embasada nas informações obtidas junto à bibliografia consultada.

### 5.2 DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

O desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos envolve uma série de atividades sequenciais a serem executadas em etapas, com a finalidade de atingir o objetivo planejado.

Com base nas consultadas efetuadas nas seguintes referências bibliográficas: MARCON, (1996), QUEIROZ (1992) e CARDOSO (1991), é apresentada uma proposta para a SGP, contendo os seguintes elementos ou atividades:

- Coleta de Dados;
- Base de Dados;
- Avaliação de Desempenho e das Condições da Rede;
- Retro-alimentação, Pesquisa e Treinamento;

Cada uma destas atividades será apresentada adiante, em detalhes.

### 5.3 COLETA DE DADOS

Os dados devem ser obtidos de acordo com o método de dimensionamento adotado. É necessário dispor de um sistema de referência confiável e permanente. Para isso, deve-se delimitar o início e o fim de cada trecho, com a colocação de marcos e elaboração de um croqui de localização dos marcos implantados.

Os parâmetros a serem coletados são sugeridos por MARCON (1996) e devem atender aos objetivos do SGP, considerando os equipamentos disponíveis no Brasil. Tais parâmetros são definidos por:

- Irregularidade - medida com aparelhos do tipo resposta, ao longo de todos os trechos. Os equipamentos tipo resposta existentes no Brasil são: o Integrador de Deslocamentos Verticais IPR/USP, o Maysmeter e o Bump Integrator. É importante que, para a preservação das



séries históricas, os equipamentos utilizados tenham escalas de correspondência entre si.

- Defeitos de superfície - os tipos de defeitos a serem levantados são aqueles constantes dos métodos de avaliação DNER-PRO 159/85, DNER-ES 128/83 e DNER-ES 182/94. A caracterização deve ser feita por tipo, severidade e densidade.
- Estrutura e Materiais - devem ser levantados, obedecendo aos seguintes requisitos: espessuras e tipos de materiais que compõem cada camada do pavimento, controle tecnológico empregado para a execução, característica de resistência dos materiais empregados na construção das camadas e do subleito, história e intervenções de manutenção e reabilitação.
- Tráfego - exerce um importante papel no comportamento dos pavimentos, como fator diretamente responsável pela sua deterioração e deve ser analisado com cuidado especial. Tal análise é indispensável para o adequado dimensionamento de intervenções no pavimento e para uma previsão futura de sua vida útil.
- Clima - tem influência direta no pavimento. Entre o conjunto de fenômenos meteorológicos que caracterizam o clima, a umidade e a temperatura, são os que interferem no ciclo de vida do pavimento. A consideração da temperatura é muito importante, pelas variações que pode produzir nos pavimentos asfálticos. Uma temperatura muito alta pode conduzir à deformação permanente das misturas asfálticas. A fadiga está associada às temperaturas médias, de forma simplificada, enquanto que as temperaturas baixas podem provocar trincas térmicas nos revestimentos (MOTTA, 1979 in RIBEIRO, 2001)

#### 5.4 BASE DE DADOS

Um Sistema de Gerência de Pavimentos parte de uma base de dados que deve ser obtida e estruturada através da união de diversas informações pertinentes à malha na qual o sistema será implantado.

Uma Base de Dados não somente proporciona um meio eficiente para retro-alimentação das várias fases de um Sistema de Gerência de Pavimentos, mas também serve para integrar as fases deste sistema, bem como melhorar a qualidade das decisões administrativas.

A Base de Dados deverá ter as seguintes características:

1. Ser informatizada, constituindo um Banco de Dados;
2. Os dados e informações a serem armazenados foram listados no item acima;
3. Selecionar o Banco de Dados entre os sistemas já existentes, pois o desenvolvimento de um banco de dados próprio é, normalmente, demorado e de custo elevado.  
(MARCON, 1996)

#### 5.5 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E DAS CONDIÇÕES DA REDE

A avaliação de desempenho será feita através de modelos de previsão do desenvolvimento dos defeitos ou de parâmetros indicadores das condições funcionais ou estruturais do pavimento. O modelo de previsão foi implementado na linguagem Visual Basic for Applications (VBA), no software Microsoft® Excel, com base nas equações de previsão desenvolvidas por PATERSON (1987), modificadas por ODOKY E KERALY (1999) e apresentadas no capítulo 4 desta dissertação.

Procurou-se, na implementação, atender ao objetivo de obter uma ferramenta para previsão de investimentos na rodovia, que fosse de fácil utilização pelo órgão gestor. Para tanto, na implementação da ferramenta, não foram inseridas as rotinas para avaliação econômica e otimização, realizando apenas uma avaliação técnica do pavimento.

Para aplicar o modelo de previsão, é necessário realizar avaliações periódicas no pavimento. Numa primeira etapa, para implantação do SGP, deve ser realizada a avaliação completa do pavimento, incluindo a avaliação funcional e estrutural do mesmo.

A avaliação funcional é realizada para determinar a condição de funcionalidade, conforto ao rolamento e a segurança que o pavimento oferece. Para a avaliação funcional, existem desde os métodos subjetivos, que se resumem às notas de avaliadores devidamente qualificados e os métodos objetivos, onde se quantificam os defeitos superficiais.

A avaliação estrutural compete definir a capacidade que um determinado pavimento suporta a passagem das cargas do tráfego sobre a sua estrutura. Os métodos de avaliação estrutural são classificados em dois tipos: métodos destrutivos e não-destrutivos. A avaliação destrutiva é realizada para verificar as espessuras e eventuais deformações das camadas, condições *in loco*, tipos de materiais empregados e umidade, entre outros.(MARCON, 1996)

Para proceder a avaliação do pavimento, o DNER PRO-159/85 recomenda que o levantamento de dados seja feito junto ao órgão responsável pela construção e conservação, para obtenção dos seguintes dados:

- Data da entrega do pavimento ao tráfego;

- Informações sobre o projeto, compreendendo características das camadas constituintes do pavimento e prováveis restaurações;
- Custos de conservação diretamente relacionados com o tráfego;
- Histórico do tráfego e outras informações julgadas procedentes.

O levantamento da condição do pavimento deve incluir a determinação das áreas que apresentam trincas, buracos e desgaste, e deverá ser executado seguindo a metodologia descrita na especificação do DNER para o Levantamento de Condição do Pavimento, DNER-ES 128/83.

Segundo o DNER-PRO 159/85, as medições de irregularidade devem ser executadas em ambas as faixas de tráfego, por meio de aparelhos medidores de irregularidade do tipo resposta - AMITR, tais como: o integrador IPR/USP ou o Maysmeter. As medidas devem ser fornecidas a um intervalo compreendido entre 200 m e 400 m, sendo normalmente adotado o intervalo constante de 320 m.

O levantamento da condição do pavimento deverá ser realizado, periodicamente, no pavimento, com duas finalidades: calibração das equações de previsão de desempenho e atualização dos dados.

A avaliação estrutural deverá ser realizada seguindo o Procedimento para Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis do DNER, o DNER-PRO 10/79, quando houver necessidade ou em intervalos pré-definidos pela agência ou órgão responsável.

Recomenda-se que tanto a avaliação estrutural quanto a avaliação funcional sejam executadas periodicamente, pois

apesar de serem independentes, estas são complementares, visto que os dados se referem a uma única estrutura.

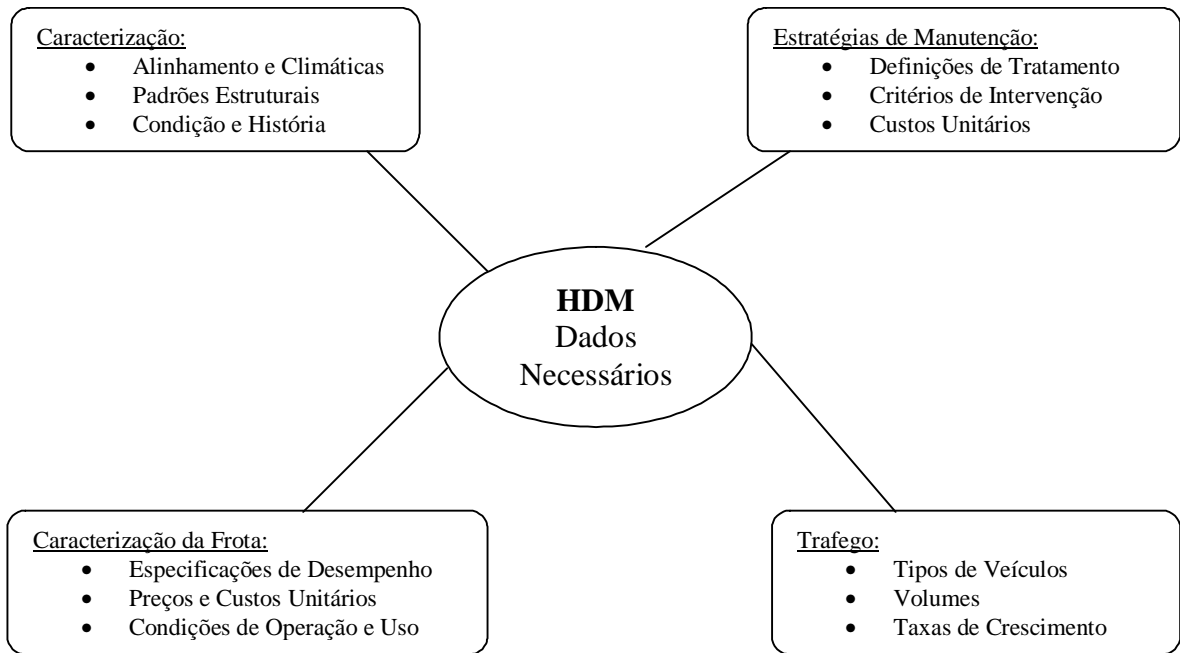
Procede-se a entrada dos dados no protótipo para que sejam calculados os parâmetros do trecho: trincamento, buracos/panelas, desprendimento de agregado e irregularidade. Estes parâmetros são calculados utilizando as equações de PATERSON (1987) descritas no capítulo 4, seção 4.4.3.

#### 5.5.1 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE PREVISÃO DE DESEMPENHO

Conforme mencionado acima, o modelo de previsão de desempenho, implementado neste trabalho, segue as equações de PATERSON (1987), modificadas em ODOKY E KERALY (1999) e descritas no capítulo 4, seção 4.4.3.

Esse modelo de previsão foi escolhido para implementação, primeiramente por essas equações terem sido desenvolvidas com base em pesquisas realizadas em vários países, entre essas pesquisas está a PICR, realizada no Brasil entre 1977 a 1981, e, inclusive, devido o HDM ser utilizado mundialmente e também uma das exigências do Banco Mundial para o financiamento de infra-estrutura.

Os dados de entrada necessários no HDM-4 são, segundo MRAWIRA (1998), numerosos e detalhados, por exemplo, o link "caracterização para rodovia pavimentada" requer 34 (trinta e quatro) atributos, além dos fatores de calibração. Os dados estão divididos em quatro subgrupos, como pode ser visto na FIG. 5.1, abaixo.



**FIG. 5.1 Dados de Entrada do HDM para Estratégia de R/M**  
**Fonte: MRAWIRA (1998)**

Para este trabalho, utilizam-se 27 (vinte e sete) dados de entrada. Sendo relativos à: idade do pavimento, defeitos, tipo de pavimento, volume de tráfego e taxa de crescimento, largura da pista e acostamento, histórico e critérios de intervenção.

Na FIG. 5.2 abaixo, são apresentadas as principais diferenças entre as entradas do HDM e do Protótipo proposto nesta pesquisa.

Dados do HDM	Dados protótipo
Caracterização da rodovia	Caracterização da rodovia
Alinhamento	X
Condições climáticas	X
Condição	Condição
História	História
Tráfego	Tráfego
Taxa de Crescimento	Taxa de Crescimento
Volumes	Volumes
Tipos de Veículos	Tipos de Veículos
Caracterização da Frota	Caracterização da Frota
Especificações de desempenho	X
Condição de operação e Uso	X
Custos Unitários e Preços	X
Estratégias de Manutenção	Estratégias de Manutenção
Definições de Tratamento	Definições de Tratamento
Critérios de Intervenção	Critérios de Intervenção
Custos Unitários	Custos Unitários

FIG. 5.2 Diferença nos Dados de Entrada do HDM e do Protótipo

Alguns dos dados de caracterização da rodovia, que não são utilizados como entradas, são assumidos como constante, por exemplo, os parâmetros relativos às condições climáticas. Neste caso, os valores assumidos são relativos ao clima tropical de predominância no Brasil. Os dados relativos ao alinhamento não são utilizados, pois afetam diretamente o VOC e têm pouca influência sobre os defeitos analisados.

Como não foi implementada a rotina para o cálculo do Custo Operacional dos Veículos, os dados de caracterização da frota de veículos não serão utilizados, já que não foi realizada a análise econômica.

No protótipo, também se utilizou o Número Estrutural Corrigido (SNC) como uma constante. Para efeito da implementação, foi utilizado um valor de SNC = 4.

O protótipo foi implementado seguindo 4 (quatro) etapas, descritas a seguir:

1. Procede-se a entrada dos dados relativos ao Pavimento;

2. Entrada dos Dados de Tráfego;
3. Ao utilizar os dados relativos a tráfego, condições climáticas, condição inicial e idade do pavimento, determina-se o ano de início de cada defeito do pavimento. Em seguida, calcula-se a mudança no estado de deterioração do pavimento, examinando cada defeito e seguindo a ordem: Trincamento, Desprendimento de agregado, Área com buracos, irregularidade.
4. Verifica-se a necessidade de manutenção no pavimento, de acordo com os valores de cada defeito no ano analisado. Sendo realizada a manutenção, segue-se o ajuste nos defeitos (redução ou acréscimo, de acordo com a manutenção aplicada). O custo da intervenção é calculado.
5. Terminados os ajustes, a análise reinicia no item 2.

Estas etapas serão mais bem descritas e exemplificadas no capítulo 6 - Aplicação da Metodologia Proposta.

#### 5.5.2 TIPOS DE INTERVENÇÃO

A conservação rodoviária pode ser definida como um conjunto de serviços destinados à preservação da rodovia no estado em que foi originalmente construída ou em que foi posteriormente melhorada. (DNER, 1998)

Com o objetivo de melhorar as condições funcionais e/ou estruturais ou retardar o efeito de algum dano, preservando assim a condição original, devem ser executadas algumas intervenções, que podem ser divididas em dois tipos, quanto à sua execução:



- Conservação Rotineira - conjunto de atividades destinadas a sanar ou reparar um defeito. Principais serviços: remendos e selagem de trincas. Faz parte da conservação rotineira, a limpeza de pista e áreas adjacentes, além do reparo na sinalização vertical e horizontal. (DNER, 1998)
- Conservação Periódica - conjunto de atividades com o objetivo de evitar o surgimento ou agravamento de defeitos. Principais serviços: capa selante, lama asfáltica, camada delgada de mistura asfáltica ou tratamento superficial e reforço estrutural. (DNER, 1998)

Para facilitar a implementação, neste trabalho serão sugeridas três intervenções, embora na agência ou órgão responsável pela manutenção das rodovias, poderá ser utilizada a técnica que melhor atenda aos objetivos da mesma.

São sugeridos os seguintes tipos de intervenção:

1. Execução de remendos - para reparar painelas, buracos e recomposição de segmentos com trincamento.
2. Tratamento Superficial Simples - para recuperar trincas, o desgaste e a perda de agregados finos na camada da superfície.
3. Reforço de 5 cm de CBUQ - utilizado para corrigir deficiências superficiais do pavimento e aumentar o desempenho funcional.

Os custos utilizados para cada tipo de intervenção são os utilizados na versão demonstrativa do HDM -4 e correspondem a:

1. Execução de remendos - \$ 14.4/km;

2. Tratamento Superficial Simples - \$ 5.0/m<sup>2</sup>;

3. Reforço de 5 cm de CBUQ - \$ 18.0/km.

### 5.5.3 CRITÉRIOS DE DECISÃO

Os critérios de decisão são limites utilizados para definir qual tipo de intervenção deverá ser executada. Estes critérios podem ser fixados pelo Órgão Rodoviário ou Agência responsável pela rodovia.

Os limites típicos para os parâmetros de trincamento, desgaste e irregularidade, segundo o DNER-PRO 159/85, são:

Irregularidade (QI<sup>2</sup>) = 50 a 70 contagens/km;

Trincamento = 15% a 40%;

Desgaste = 15% a 40%.

MARCON (1996) sugere que os limites sejam determinados com base em dados coletados na própria rede. Em seu trabalho, os limites sugeridos para a rede estudada baseiam-se nos parâmetros de tráfego, irregularidade, deflexão máxima e porcentagem da área com trincamento total, como pode ser observado na FIG. 5.3 abaixo.

---

<sup>2</sup> QI é o Quociente de Irregularidade, escala padrão de irregularidade adotada no Brasil, a unidade de medida é em contagens/km. Internacionalmente vem sendo utilizada a escala "International Roughness Index" - IRI, expressa em m/km. A relação entre IRI e QI pode ser obtida pela equação  $IRI = \frac{QI}{13}$ .

No presente trabalho, os limites utilizados serão os valores default da Versão Demonstrativa do HDM-4, para utilização em um órgão ou agência responsável pela manutenção da rede.

Um dos parâmetros utilizados como limite para intervenção é a soma das áreas de trincamento, de desgaste e de buracos, chamada de **Área Total com Defeitos (ADAMS)**.

Para definir os limites dos parâmetros, o usuário deverá utilizar a planilha denominada PARAMETROS, nas células referentes a cada alternativa.

Para definir a implementação da Conservação de Rotina, execução de remendos, um valor default poderá ser utilizado para Área Total com Defeitos ( $ADAMS > 5\%$ ) e também um limite máximo para irregularidade que não deverá ser maior que 12.5 ( $IRI < 12.5$ ). Quando a irregularidade atinge este limite é necessário aplicar a alternativa de reconstrução do pavimento, que não será implementada neste trabalho.

Para a implementação da Conservação Preventiva, o limite utilizado será a soma da área de trincamento estreito, buracos e desprendimento de agregado ( $ADAMR - \text{Área Total de defeitos não-reparados}$ ), mas este valor não deve ser maior que 20%.

Para a implementação do Reforço, são utilizados como limites a combinação da área de trincamento e irregularidade, sendo que a área de trincamento não deve ser maior que 20% e a irregularidade não deve ser maior que 5.

Para a implementação da Manutenção de Rotina, associada ao Reforço, são utilizados os limites que seguem:

- $IRI \geq 5m/km$  e  $Trincas \geq 15\%$  - realizado o Reforço;
- $(Trincas + Desgaste + Buracos) > 5\%$  - realizada a Manutenção de Rotina.

NA	ATR	DEFM < 60			60 < DEFM < 80			DEFM > 80		
		QI < 30	30 < QI < 50	QI > 50	QI < 30	30 < QI < 50	QI > 50	QI < 30	30 < QI < 50	QI > 50
<1,8E+5	<20	CR	ER	R4	CR	ER	R4	CR	R4	R4
	20 < ATR < 40	LA	LA	R4	LA	R4	R4	R4	R4	R8
	ATR > 40	LA	R4	R8	R4	R4	R8	R4	R8	R8
>1,8E+5	<20	CR	ER	R4	CR	ER	R4	CR	R4	R8
	20 < ATR < 40	LA	R4	R8	LA	R4	R8	R4	R8	R8
	ATR > 40	LA	R8	R8	R4	R8	R8	R4	R8	R8

**LEGENDA**

NA - número N, calculado pelo método da AASHTO, por faixa de tráfego

ATR - percentual da área do pavimento com trincamento total

QI - quociente de irregularidade, em contagens/km

DEFM - deflexão máxima média, em centésimos de milímetro

CR - conservação rotineira

ER - execução de remendos

LA - lama asfáltica

R4 - reforço de 4 cm de concreto asfáltico

R8 - reforço de 8 cm de concreto asfáltico

FIG. 5.3 Critérios de Decisão para Soluções de Intervenção

Fonte: MARCON, 1996

## 5.6 RETRO-ALIMENTAÇÃO, PESQUISA E TREINAMENTO

A retro-alimentação e pesquisa são atividades importantes para o desenvolvimento e aperfeiçoamento do sistema após sua implementação. (MARCON, 1996)

A **retro-alimentação** é um processo contínuo e permanente de atualização e complementação das informações ou dados existentes. Esta etapa de atualização garante a permanente melhoria de um SGP e procura aproximar os modelos adotados do comportamento real dos trechos que compõem a rede. A retro-alimentação propicia meios necessários para uma análise da eficiência do sistema e indicação de possíveis correções nos procedimentos de trabalho e critérios de decisão.

As principais fontes de retro-alimentação podem ser os levantamentos periódicos executados nos pavimentos, relatórios de intervenções executadas e estudos especiais para analisar problemas específicos de trechos.

A **pesquisa e treinamento** são ferramentas para o aperfeiçoamento contínuo do sistema, criando condições para sua adesão ao avanço científico e tecnológico e, ao mesmo tempo, capacitando o corpo técnico de operá-lo de forma adequada.

A pesquisa, segundo MARCON (1996), deve estar voltada para o aperfeiçoamento das equações de previsão de desempenho do pavimento, descobertas de novas técnicas, a eficácia das técnicas de manutenção e reabilitação, o comportamento dos materiais, entre outras.

O treinamento é voltado para a preparação do corpo técnico à interpretação dos dados e à operação do sistema a ser

implantado, como também ao aperfeiçoamento e atualização da equipe.

O SGP deverá, periodicamente, passar por um processo de avaliação que examinará os itens de atendimento aos objetivos planejados, a efetividade como ferramenta de decisão, a adequação da forma de levantamento e dos tipos de dados coletados, as novas tecnologias que podem ser incorporadas, as dificuldades para tornar ou manter o SGP operacional e a capacitação técnica da equipe envolvida.

## 5.7 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

As etapas sugeridas para a presente metodologia são comuns e necessárias a todo Sistema de Gerência de Pavimentos. A diferença neste trabalho é que o modelo utilizado de previsão de desempenho do pavimento tem como base o modelo de desempenho utilizado pelo HDM-4, outra diferença é que não foi implementada uma Avaliação Econômica da rodovia, não sendo necessária a utilização dos dados requeridos para o cálculo do Custo Operacional dos Veículos (VOC), dados relativos à frota de veículos da rodovia e, desta forma, reduzindo a quantidade de dados de entrada necessários.

As simplificações, portanto, referem-se à não-utilização de uma avaliação econômica, o que permitiu que não fosse necessário realizar o cálculo do Custo Operacional dos Veículos (VOC), levando-se em conta apenas os aspectos técnicos/construtivos da rodovia, a utilização do Número Estrutural Corrigido e dos Fatores Climáticos utilizados como constantes nos cálculos.

## 6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA PARA O GERENCIAMENTO DE RODOVIAS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO

### 6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo é desenvolvida uma aplicação da metodologia proposta em um caso hipotético de uma Rodovia entre as Cidades A e B, que contempla a análise da rodovia sob vários cenários.

Apesar de o caso ser hipotético, o dado utilizado é próximo da realidade, já que estes dados constam da Versão Demonstrativa do HDM-4.

### 6.2 O PROTÓTIPO

Conforme mencionado acima, o protótipo foi implementado na linguagem Visual Basic for Applications (VBA), no software Microsoft® Excel, empregando as equações de previsão desenvolvidas por PATERSON(1987) e modificadas por ODOKY E KERALY(1999), apresentadas no capítulo 4 desta dissertação.

O protótipo apresenta como saídas: a Previsão, a Porcentagem de área com Trincamento e com Desprendimento do Agregado, o Número de Buracos e a Porcentagem de área com Buracos e a Irregularidade. Também, de acordo com a Manutenção/Restauração escolhida, o protótipo apresenta o Custo de implementação da mesma.

#### 6.2.1 ENTRADA DE DADOS

Os Dados de Entrada do protótipo estão divididos em dados relativos ao Estado da Rodovia, a Característica da Rodovia e Análise.

Os dados relativos ao Estado da Rodovia são: idade da restauração, idade da construção, número de buracos por quilômetro, porcentagem de área com trincamento, porcentagem da área com desprendimento do agregado e a irregularidade.

Os dados relativos às Características da Rodovia são: características físicas da via (Largura, acostamento, extensão, espessura da camada de revestimento), tipo de rodovia, tipo de pavimento, tráfego, características ambientais e tipo de revestimento.

Os dados relativos à Análise são: o ano de início da análise e o período da análise, em anos.

Também, como dados de entrada para executar o protótipo, deve ser definido o tipo de intervenção e, por fim, os Critérios de Decisão. As intervenções a serem implementadas são:

- Conservação Rotineira, que inclui os serviços de Tapa-Buracos;
- Conservação Periódica, que inclui o Tratamento Superficial Simples;
- Reforço de 5 cm de CBUQ.

Os dados de entrada serão inseridos em duas planilhas, a primeira denominada "entrada" (

TAB. 6.1), onde se encontram os dados relativos à caracterização da rodovia e a outra denominada "parâmetros" (TAB. 6.2), onde se determinam os critérios que apresentam a intervenção no pavimento.



TAB. 6.1 Planilha de Entrada de Dados do Protótipo

## Dados de Entrada

Período de Análise	
Ano de Início da Análise	

### Estado da Rodovia

Última Reconstrução ou Nova Construção	(Ano)	
Última Reabilitação( Recapeamento)	Ano)	
Última Repavimentação ( Reselagem)	(Ano)	
Último Tratamento Preventivo	(Ano)	
Número de painéis/buracos por Km		
Área de trincas totais	(%)	
Ondulação	(%)	
Área de desprendimentos na pista	(%)	
Irregularidade		

### Características da Rodovia

Físicas	
Largura da Pista (m)	
Acostamento (m)	
Extensão (km)	
Espessura da camada mais recente de revestimento (mm)	
Espessura da camada antiga de revestimento (mm)	
Tipo de Rodovia	
1 - Não Pavimentada	
2 - Pavimentada	
Tipo de Pavimento	
1 - Tratamento Superficial base granular	
2 - Tratamento Superficial base betuminosa	
3 - Tratamento Superficial sobre pavimento asfáltico	
4 - Concreto Asfáltico base granular	
5 - Concreto Asfáltico base betuminosa	
6 - Concreto Asfáltico sobre pavimento asfáltico	
Tráfego	
Veículos Médio Diário	
Ambientais	
Precipitação Média (mm/mês)	
Tipo de Capa	
1 - Capa selante	
2 - Mistura Asfáltica Fria	
3 - Lama Asfáltica	
4 - Outros	

TAB. 6.2 Planilha de Entrada dos Parâmetros do Protótipo

Tipo de Intervenção Escolhida Entre com o número escolhido na célula ao lado	
<b>1 - Conservação de Rotina: Remendos</b>	
<b>LIMITES</b>	
	Custo por Km
	Limite de defeitos ( Trincas Largas + Buracos + Desprendimento do Agregado)
	Limite Máximo da Irregularidade
<b>2 - Conservação Preventiva : TSS</b>	
<b>LIMITES</b>	
	Intervalo mínimo entre aplicações ( Ano)
	Custo por m2
	Limite de defeitos ( Trincas Totais + Buracos + Desprendimento do Agregado)
	Limite Máximo da Irregularidade
<b>3 - Reforço</b>	
<b>LIMITES</b>	
	Limite de Trincamento
	Limite da Irregularidade
	Custo por Km
	Limite Máximo da Irregularidade
	Intervalo mínimo entre aplicações ( Ano)

### 6.2.2 TRÁFEGO

O protótipo inclui também uma planilha denominada TRÁFEGO, destinada ao cálculo dos parâmetros derivados do tráfego, que serão utilizados no modelo de previsão de desempenho.

Estes parâmetros são:

- Número equivalente de operações do eixo de 8,2 toneladas, calculado pelo método da AASHTO (ye4);
- Número total de eixos (yax).

Nesta aplicação do protótipo, serão utilizados para o cálculo destes parâmetros, os fatores empregados no HDM-4. Vale lembrar que estes parâmetros podem ser calculados utilizando-se os fatores adequados à região estudada. Por exemplo, os fatores de veículo utilizados para o cálculo do número equivalente de operações de eixo padrão podem ser obtidos por levantamentos de pesagem de veículos, executados na região e substituídos na planilha.

Na planilha "TRÁFEGO" constam a composição do tráfego e as taxas de crescimento (TAB. 6.3).

**TAB. 6.3 Entrada de Dados do Tráfego**

Ano Levantamento	2000	Tráfego Diário 0 (veic/dia)	Composição 0 (%)
Simples	Automóveis	0	
	Ônibus	0	
	Utilitários	0	
	Caminhões leves	0	
	Caminhões Médio	0	
	Caminhões Pesado	0	
Reboque e Semi - Reboque	04 Eixos	0	
	05 Eixos	0	
	06 Eixos	0	
	Total	0	0%

### 6.2.3 SAÍDAS DO PROTÓTIPO

A planilha denominada "SAÍDA" apresenta os valores previstos dos defeitos do pavimento para cada ano do período de análise, segundo a alternativa de intervenção escolhida. A forma da planilha de Saída pode ser vista na TAB. 6.4 abaixo.

**TAB. 6.4 Planilha de Saída do Protótipo**

Ano	Trincamento Total	Trincamento Largo	Desprendimento Agregado	Números de Buracos	Irregularidade	Porcentagem de Buracos
2005						
	Depois Trabalhos					
2006						
	Depois Trabalhos					
2007						
	Depois Trabalhos					
2008						
	Depois Trabalhos					
2009						
	Depois Trabalhos					
2010						
	Depois Trabalhos					
2011						
	Depois Trabalhos					
2012						
	Depois Trabalhos					
2013						
	Depois Trabalhos					

### 6.3 APLICAÇÃO DO PROTÓTIPO

Os dados necessários para executar o protótipo devem ser aqueles medidos na Avaliação do Pavimento ou em dados históricos, como exposto no capítulo anterior. Nesta aplicação, visto que trata-se de um caso hipotético, serão utilizados os dados do exemplo "Programação de Reabilitação", que consta na versão demonstrativa do software HDM-4.

#### 6.3.1 ENTRADA DE DADOS

O exemplo trata de uma rodovia pavimentada de 50 km de extensão, construída em 1988, que passou por uma reabilitação em 1992 e por um tratamento de reselagem em 1995. O revestimento é em concreto asfáltico sobre base granular. Estes dados e os demais necessários são apresentados abaixo, na TAB. 6.5.

Após a entrada de dados relativos às características da rodovia e tráfego na planilha "PARÂMETROS", procede-se, então, a escolha da alternativa de intervenção que deverá ser analisada. Escolhida a alternativa, o usuário poderá optar por especificar os parâmetros limitantes necessários ou executar a análise com os limites já inseridos, conforme pode ser visto na TAB. 6.6, a seguir.

Para escolher uma alternativa, o usuário deve digitar o número referente à opção desejada:

0. Nenhuma conservação;
1. Conservação de Rotina;
2. Conservação Periódica;
3. Reforço de 5 (cinco) cm;
4. Conservação de Rotina e Reforço.

TAB. 6.5 Entrada de Dados da Aplicação do Protótipo

## Dados de Entrada

Período de Análise	20
Ano de início da análise	2004

### Estado da Rodovia

Última reconstrução ou nova const.	(Ano)	1995
Última reabilitação( recapeamento)	(Ano)	1998
Última repavimentação ( reselagem)	(Ano)	2000
Último tratamento preventivo	(Ano)	2002
Número de panelas/buracos por Km		5,00
Área de trincas totais	(%)	5,00
Ondulação	(%)	2,00
Área de desprendimentos na pista	(%)	5,00
Irregularidade		4

### Características da Rodovia

Físicas	
Largura da Pista (m)	8,00
Acostamento (m)	2,00
Extensão (km)	50,00
Espessura da camada mais recente de revestimento (mm)	50,00
Espessura da camada antiga de revestimento (mm)	100,00
Tipo de Rodovia	
1 - Não Pavimentada	2
2 - Pavimentada	
Tipo de Pavimento	
1 - Tratamento Superficial base granular	4
2 - Tratamento Superficial base betuminosa	
3 - Tratamento Superficial sobre pavimento asfáltico	
4 - Concreto Asfáltico base granular	
5 - Concreto Asfáltico base betuminosa	
6 - Concreto Asfáltico sobre pavimento asfáltico	
Tráfego	
Veículos Médio Diário	600
Ambientais	
Precipitação Média (mm/mês)	125
Tipo de Capa	
1 - Capa selante	4
2 - Mistura asfáltica Fria	
3 - Lama asfáltica	
4 - Outros	

TAB. 6.6 Entrada dos Parâmetros de Intervenção da Aplicação do Protótipo

<b>Tipo de Intervenção Escolhida</b>		4
<b>1 - Conservação de Rotina: Remendos</b>		
<b>LIMITES</b>		
14,4	Custo por Km	
4	Limite de defeitos ( Trincas Largas + Buracos + Desprendimento do Agregado)	
12,5	Limite Máximo da Irregularidade	
<b>2 - Conservação Preventiva : TSS</b>		
<b>LIMITES</b>		
1	Intervalo mínimo entre aplicações ( Ano)	
5	Custo por m2	
20	Limite de defeitos ( Trincas Totais + Buracos + Desprendimento do Agregado)	
12,5	Limite Máximo da Irregularidade	
<b>3 - Reforço</b>		
<b>LIMITES</b>		
15	Limite de Trincamento	
5	Limite da Irregularidade	
18	Custo por Km	
12,5	Limite Máximo da Irregularidade	
1	Intervalo mínimo entre aplicações ( Ano)	

### 6.3.2 RESULTADOS

Depois de executado o protótipo na planilha "SAÍDA", encontram-se os valores previstos para evolução dos defeitos, de acordo com a alternativa de intervenção escolhida.

Para a alternativa Zero (0), nenhum tipo de intervenção, o resultado pode ser visto abaixo na TAB. 6.7.

**TAB. 6.7 Resultados da Alternativa SEM MANUTENÇÃO**

Ano		Trincamento Total	Trincamento Largo	Desprendimento Agregado	Números de Buracos	Irregularidade	Porcentagem de Buracos
2004		8,47	7,29	9,43	5,16	4,16	0,01
	Depois Trabalhos	8,47	7,29	9,43	5,20	4,16	0,01
2005		13,37	12,16	15,87	5,37	4,33	0,01
	Depois Trabalhos	13,37	12,16	15,87	5,36	4,33	0,01
2006		20,02	18,45	24,72	5,54	4,52	0,01
	Depois Trabalhos	20,02	18,45	24,72	5,52	4,52	0,01
2007		28,74	26,68	36,42	5,71	4,73	0,01
	Depois Trabalhos	28,74	26,68	36,42	5,68	4,73	0,01
2008		39,88	37,24	49,06	30,04	4,98	0,04
	Depois Trabalhos	39,89	37,24	49,06	30,00	4,98	0,04
2009		53,26	50,06	46,65	65,39	5,28	0,08
	Depois Trabalhos	53,27	50,06	46,65	65,36	5,28	0,08
2010		65,21	62,18	34,65	112,18	5,62	0,14
	Depois Trabalhos	65,21	62,18	34,65	112,16	5,62	0,14
2011		74,75	72,24	25,04	169,40	5,99	0,21
	Depois Trabalhos	74,75	72,24	25,04	169,36	5,99	0,21
2012		82,22	80,23	17,49	232,76	6,40	0,29
	Depois Trabalhos	82,22	80,22	17,49	232,80	6,40	0,29
2013		87,93	86,39	11,69	306,82	6,87	0,38
	Depois Trabalhos	87,93	86,39	11,69	306,80	6,87	0,38
2014		92,16	91,01	7,35	390,89	7,40	0,49
	Depois Trabalhos	92,16	91,01	7,35	390,88	7,40	0,49
2015		95,18	94,35	4,20	484,65	8,01	0,61
	Depois Trabalhos	95,19	94,35	4,20	484,64	8,01	0,61
2016		97,25	96,67	2,02	587,86	8,71	0,73
	Depois Trabalhos	97,25	96,67	2,02	587,84	8,71	0,73
2017		98,57	98,19	0,55	700,48	9,51	0,88
	Depois Trabalhos	98,57	98,19	0,55	700,48	9,51	0,88
2018		98,97	98,97	0,00	822,68	10,42	1,03
	Depois Trabalhos	98,97	98,97	0,00	822,72	10,42	1,03
2019		98,81	98,81	0,00	954,72	11,46	1,19
	Depois Trabalhos	98,81	98,81	0,00	954,72	11,46	1,19
2020		98,63	98,63	0,00	1.096,55	12,65	1,37
	Depois Trabalhos	98,63	98,63	0,00	1.096,56	12,65	1,37
2021		98,44	98,44	0,00	1.249,15	14,45	1,56
	Depois Trabalhos	98,44	98,44	0,00	1.249,12	14,45	1,56
2022		98,23	98,23	0,00	1.413,53	16,00	1,77
	Depois Trabalhos	98,23	98,23	0,00	1.413,52	16,00	1,77
2023		98,01	98,01	0,00	1.590,91	16,00	1,99
	Depois Trabalhos	98,01	98,01	0,00	1.590,88	16,00	1,99



Para a alternativa Um (1), Conservação Rotineira, o resultado pode ser visto na TAB. 6.8 abaixo.

**TAB. 6.8 Resultados da Alternativa MANUTENÇÃO DE ROTINA**

Ano		Trincamento Total	Trincamento Largo	Desprendimento Agregado	Números de Buracos	Irregularidade	Porcentagem de Buracos
2004		8,47	7,29	9,43	5,16	4,16	0,01
	Depois Trabalhos	1,18	0,00	0,00	0,00	4,16	0,00
2005		2,55	0,00	1,47	0,00	4,31	0,00
	Depois Trabalhos	2,55	0,00	1,47	0,00	4,31	0,00
2006		4,79	0,00	3,97	0,00	4,47	0,00
	Depois Trabalhos	4,79	0,00	3,97	0,00	4,47	0,00
2007		8,16	0,00	8,22	0,00	4,64	0,00
	Depois Trabalhos	8,16	0,00	0,00	0,00	4,64	0,00
2008		12,95	0,00	1,37	0,00	4,82	0,00
	Depois Trabalhos	12,95	0,00	1,37	0,00	4,82	0,00
2009		19,46	2,90	3,60	0,00	5,02	0,00
	Depois Trabalhos	16,56	0,00	0,00	0,00	5,02	0,00
2010		24,24	9,85	1,46	0,00	5,23	0,00
	Depois Trabalhos	14,39	0,00	0,00	0,00	5,23	0,00
2011		21,37	8,96	1,51	0,00	5,44	0,00
	Depois Trabalhos	12,41	0,00	0,00	0,00	5,44	0,00
2012		18,74	8,06	1,57	0,00	5,65	0,00
	Depois Trabalhos	10,68	0,00	0,00	0,00	5,65	0,00
2013		16,40	0,00	1,63	0,00	5,86	0,00
	Depois Trabalhos	16,40	0,00	1,63	0,00	5,86	0,00
2014		24,03	2,90	4,48	0,00	6,09	0,00
	Depois Trabalhos	21,13	0,00	0,00	0,00	6,09	0,00
2015		30,18	11,24	1,76	0,00	6,34	0,00
	Depois Trabalhos	18,94	0,00	0,00	0,00	6,34	0,00
2016		27,34	10,72	1,83	0,00	6,59	0,00
	Depois Trabalhos	16,62	0,00	0,00	0,00	6,59	0,00
2017		24,31	9,88	1,90	0,00	6,84	0,00
	Depois Trabalhos	14,43	0,00	0,00	0,00	6,84	0,00
2018		21,43	8,98	1,98	0,00	7,09	0,00
	Depois Trabalhos	12,45	0,00	0,00	0,00	7,09	0,00
2019		18,79	8,08	2,06	0,00	7,34	0,00
	Depois Trabalhos	10,71	0,00	0,00	0,00	7,34	0,00
2020		16,44	0,00	2,15	0,00	7,59	0,00
	Depois Trabalhos	16,44	0,00	2,15	0,00	7,59	0,00
2021		24,08	2,90	6,31	0,00	7,86	0,00
	Depois Trabalhos	21,18	0,00	0,00	0,00	7,86	0,00
2022		30,24	11,25	2,34	0,00	8,15	0,00
	Depois Trabalhos	18,99	0,00	0,00	0,00	8,15	0,00
2023		27,41	10,73	2,45	0,00	8,44	0,00
	Depois Trabalhos	16,68	0,00	0,00	0,00	8,44	0,00

Aplicando a alternativa da conservação de rotina, deverá ser realizada uma intervenção no segundo ano de análise outra no sétimo ano, nono, décimo primeiro ano, décimo terceiro, décimo quinto, décimo sétimo e décimo nono. Dessa forma, reduz-se a área de trincamento, desgaste e buracos, sem alterar a irregularidade.

Para a alternativa Dois (2), Conservação Preventiva, o resultado pode ser visto na TAB. 6.9 abaixo. A alternativa de manutenção preventiva reduzirá os defeitos de trincamento, desgaste e buracos.

**TAB. 6.9 Resultados da Alternativa MANUTENÇÃO PREVENTIVA**

Ano		Trincamento Total	Trincamento Largo	Desprendimento Agregado	Números de Buracos	Irregularidade	Porcentagem de Buracos
2004		8,47	7,29	9,43	5,16	4,16	0,01
	Depois Trabalhos	8,47	7,29	9,43	5,20	4,16	0,01
2005		13,37	12,16	15,87	5,37	4,33	0,01
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	4,35	0,00
2006		0,00	0,00	0,00	0,00	4,48	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	4,48	0,00
2007		0,00	0,00	0,00	0,00	4,62	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	4,62	0,00
2008		1,75	0,00	0,00	0,00	4,77	0,00
	Depois Trabalhos	1,75	0,00	0,00	0,00	4,77	0,00
2009		9,26	0,00	0,00	0,00	4,96	0,00
	Depois Trabalhos	9,26	0,00	0,00	0,00	4,96	0,00
2010		27,08	4,42	0,00	0,00	5,23	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	5,23	0,00
2011		3,20	0,00	0,00	0,00	5,41	0,00
	Depois Trabalhos	3,20	0,00	0,00	0,00	5,41	0,00
2012		10,81	0,00	0,00	0,00	5,62	0,00
	Depois Trabalhos	10,81	0,00	0,00	0,00	5,62	0,00
2013		25,36	6,03	0,00	0,00	5,89	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	5,74	0,00
2014		3,20	0,00	0,00	0,00	5,93	0,00
	Depois Trabalhos	3,20	0,00	0,00	0,00	5,93	0,00
2015		10,81	0,00	0,00	0,00	6,16	0,00
	Depois Trabalhos	10,81	0,00	0,00	0,00	6,16	0,00
2016		25,36	6,03	0,00	0,00	6,44	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	6,13	0,00
2017		3,20	0,00	0,00	0,00	6,33	0,00
	Depois Trabalhos	3,20	0,00	0,00	0,00	6,33	0,00
2018		10,81	0,00	0,00	0,00	6,57	0,00
	Depois Trabalhos	10,81	0,00	0,00	0,00	6,57	0,00
2019		25,36	6,03	0,00	0,00	6,86	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	6,42	0,00
2020		3,20	0,00	0,00	0,00	6,63	0,00
	Depois Trabalhos	3,20	0,00	0,00	0,00	6,63	0,00
2021		10,81	0,00	0,00	0,00	6,88	0,00
	Depois Trabalhos	10,81	0,00	0,00	0,00	6,88	0,00
2022		25,36	6,03	0,00	0,00	7,18	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	6,68	0,00
2023		3,20	0,00	0,00	0,00	6,90	0,00
	Depois Trabalhos	3,20	0,00	0,00	0,00	6,90	0,00

Para a alternativa Três (3), Reforço de 5 cm, o resultado pode ser visto na TAB. 6.10 abaixo.

**TAB. 6.10 Resultados da Alternativa REFORÇO 5CM**

Ano		Trincamento Total	Trincamento Largo	Desprendimento Agregado	Números de Buracos	Irregularidade	Porcentagem de Buracos
2004		8,47	7,29	9,43	5,16	4,16	0,01
	Depois Trabalhos	8,47	7,29	9,43	5,20	4,16	0,01
2005		13,37	12,16	15,87	5,37	4,33	0,01
	Depois Trabalhos	13,37	12,16	15,87	5,36	4,33	0,01
2006		20,02	18,45	24,72	5,54	4,52	0,01
	Depois Trabalhos	20,02	18,45	24,72	5,52	4,52	0,01
2007		28,74	26,68	36,42	5,71	4,73	0,01
	Depois Trabalhos	28,74	26,68	36,42	5,68	4,73	0,01
2008		39,88	37,24	49,06	30,04	4,98	0,04
	Depois Trabalhos	39,89	37,24	49,06	30,00	4,98	0,04
2009		53,26	50,06	46,65	65,39	5,28	0,08
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	2,91	0,00
2010		0,00	0,00	0,00	0,00	3,06	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	3,06	0,00
2011		0,68	0,00	0,00	0,00	3,18	0,00
	Depois Trabalhos	0,68	0,00	0,00	0,00	3,18	0,00
2012		1,90	0,00	0,00	0,00	3,31	0,00
	Depois Trabalhos	1,90	0,00	0,00	0,00	3,31	0,00
2013		4,22	0,00	0,00	0,00	3,45	0,00
	Depois Trabalhos	4,22	0,00	0,00	0,00	3,45	0,00
2014		8,10	0,00	0,00	0,00	3,60	0,00
	Depois Trabalhos	8,10	0,00	0,00	0,00	3,60	0,00
2015		14,05	3,63	0,00	0,00	3,77	0,00
	Depois Trabalhos	14,05	3,63	0,00	0,00	3,77	0,00
2016		22,64	11,05	0,00	0,00	3,96	0,00
	Depois Trabalhos	22,64	11,05	0,00	0,00	3,96	0,00
2017		34,49	23,11	0,00	0,00	4,18	0,00
	Depois Trabalhos	34,49	23,11	0,00	0,00	4,18	0,00
2018		50,26	40,18	0,00	8,11	4,43	0,01
	Depois Trabalhos	50,26	40,18	0,00	8,08	4,43	0,01
2019		65,90	61,02	0,00	22,70	4,70	0,03
	Depois Trabalhos	65,90	61,01	0,00	22,72	4,70	0,03
2020		77,65	77,65	0,00	45,72	4,96	0,06
	Depois Trabalhos	77,65	77,65	0,00	45,68	4,96	0,06
2021		86,16	86,16	0,00	76,07	5,22	0,10
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	2,88	0,00
2022		0,00	0,00	0,00	0,00	3,11	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	3,11	0,00
2023		0,68	0,00	0,00	0,00	3,23	0,00
	Depois Trabalhos	0,68	0,00	0,00	0,00	3,23	0,00

A alternativa de Reforço deverá ser realizada no quinto e décimo oitavo ano de análise. Essa intervenção reduzirá a área de trincamento, desgaste, buracos e irregularidade.

Ainda a alternativa Quatro (4), Conservação de Rotina e Reforço de 5 cm, o resultado pode ser visto na TAB. 6.11 acima.

**TAB. 6.11 Resultados das Alternativas MANUTENÇÃO DE ROTINA e REFORÇO**

Ano		Trincamento Total	Trincamento Largo	Desprendimento Agregado	Números de Buracos	Irregularidade	Porcentagem de Buracos
2004		8,47	7,29	11,13	5,21	4,15	0,01
	Depois Trabalhos	1,18	0,00	0,00	0,00	4,15	0,00
2005		2,55	0,00	2,19	0,00	4,30	0,00
	Depois Trabalhos	2,55	0,00	2,19	0,00	4,30	0,00
2006		4,79	0,00	6,53	0,00	4,46	0,00
	Depois Trabalhos	4,79	0,00	0,00	0,00	4,46	0,00
2007		8,16	0,00	2,37	0,00	4,63	0,00
	Depois Trabalhos	8,16	0,00	2,37	0,00	4,63	0,00
2008		12,95	2,93	7,20	0,00	4,82	0,00
	Depois Trabalhos	10,02	0,00	0,00	0,00	4,82	0,00
2009		15,50	3,63	2,16	0,00	5,02	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	2,91	0,00
2010		0,00	0,00	0,00	0,00	3,05	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	3,05	0,00
2011		0,00	0,00	0,00	0,00	3,18	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	3,18	0,00
2012		0,00	0,00	0,00	0,00	3,31	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	3,31	0,00
2013		0,00	0,00	0,00	0,00	3,44	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	3,44	0,00
2014		0,00	0,00	0,00	0,00	3,58	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	3,58	0,00
2015		0,00	0,00	0,00	0,00	3,72	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	3,72	0,00
2016		0,19	0,00	0,00	0,00	3,84	0,00
	Depois Trabalhos	0,19	0,00	0,00	0,00	3,84	0,00
2017		1,31	0,00	0,00	0,00	3,97	0,00
	Depois Trabalhos	1,31	0,00	0,00	0,00	3,97	0,00
2018		3,33	0,00	0,00	0,00	4,11	0,00
	Depois Trabalhos	3,33	0,00	0,00	0,00	4,11	0,00
2019		6,99	0,00	0,00	0,00	4,27	0,00
	Depois Trabalhos	6,99	0,00	0,00	0,00	4,27	0,00
2020		12,93	3,63	0,00	0,00	4,45	0,00
	Depois Trabalhos	12,93	3,63	0,00	0,00	4,45	0,00
2021		21,87	11,05	0,00	0,00	4,66	0,00
	Depois Trabalhos	10,82	0,00	0,00	0,00	4,66	0,00
2022		18,76	3,63	0,00	0,00	4,86	0,00
	Depois Trabalhos	18,76	3,63	0,00	0,00	4,86	0,00
2023		30,24	11,05	0,00	0,00	5,10	0,00
	Depois Trabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	2,93	0,00

Deverá ser realizada uma manutenção de Rotina no primeiro, no terceiro, quinto e décimo sétimo ano de análise e um reforço de 5 cm no sexto ano e no décimo nono ano.

O investimento que deverá ser realizado na implementação das alternativas de manutenção, segundo a época em que serão realizadas, será calculado de acordo com a quantidade de área a sofrer intervenção pelo valor de cada serviço de manutenção.

### 6.3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para avaliar os resultados do protótipo, foi realizada uma análise comparativa, utilizando os valores de saída da Versão Demonstrativa do HDM e os resultados obtidos na aplicação do protótipo.

Os resultados encontrados no protótipo, apresentados acima nas TAB. 6.7, TAB. 6.8, TAB. 6.9, TAB. 6.10 e TAB. 6.11, quando comparados com os resultados obtidos na versão demonstrativa do HDM, apresentam uma variação média de 5% dos valores.

Como pode ser visto abaixo na FIG. 6.1, a evolução dos defeitos do protótipo tem a mesma forma e os valores são praticamente sobrepostos em relação aos valores do HDM para a alternativa sem manutenção. O mesmo pode ser observado na FIG. 6.2, que apresenta a evolução da irregularidade.

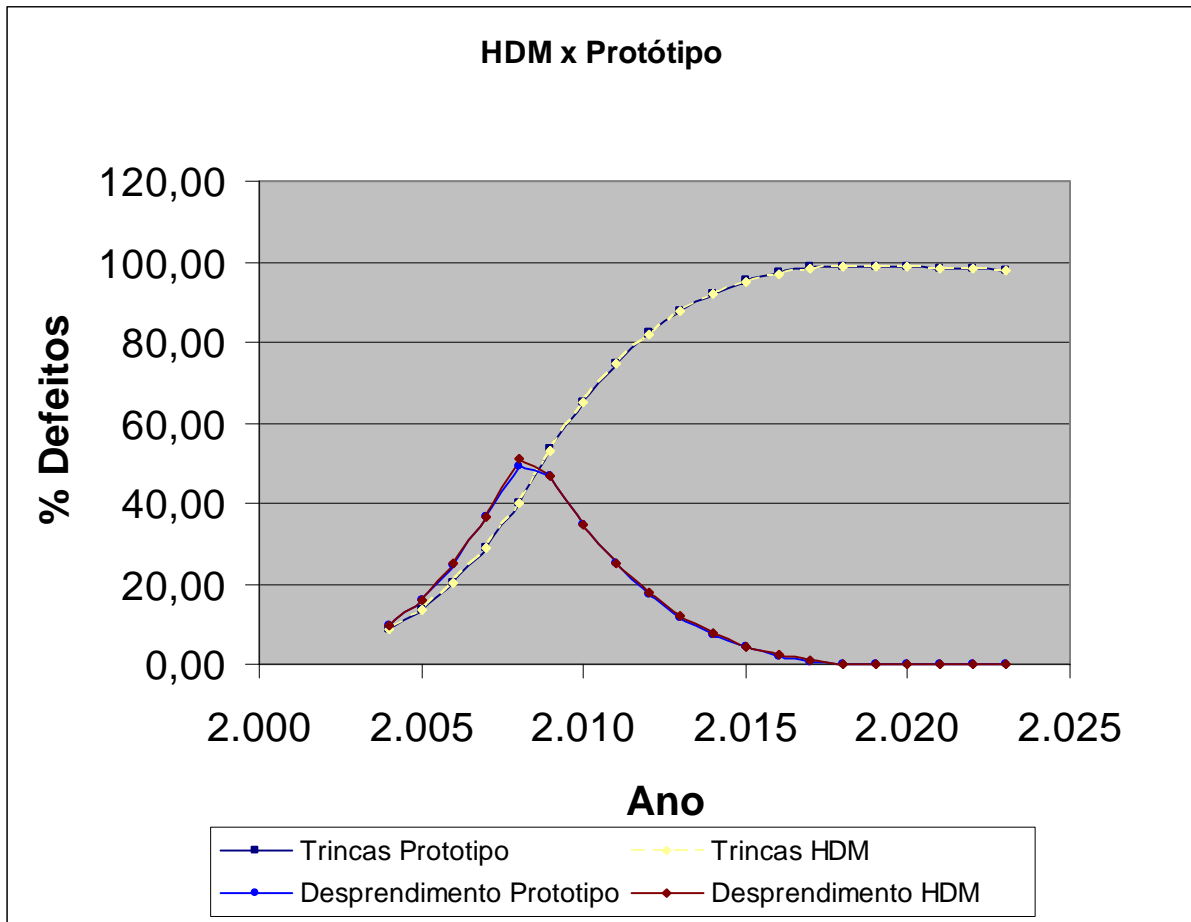


FIG. 6.1 Gráfico da Progressão de Defeitos no HDM X Protótipo - Alternativa Sem Manutenção

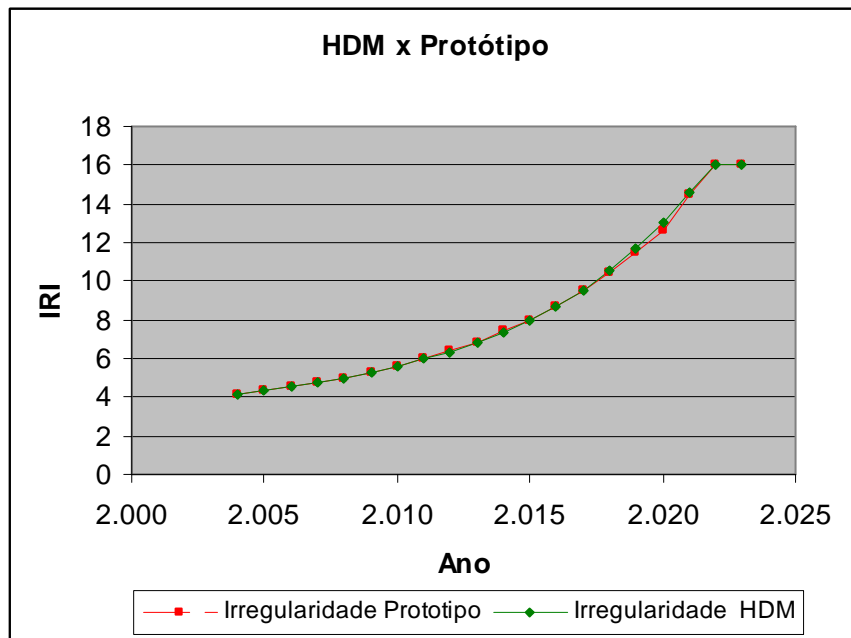


FIG. 6.2 Gráfico da Progressão do IRI no HDM x Protótipo - Alternativa Sem Manutenção

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 7.1 CONCLUSÕES

O sistema rodoviário é o meio mais utilizado para o transporte de carga e passageiros no país, merecendo a atenção não apenas de pesquisadores como de gestores federais, estaduais, municipais e/ou das agências privadas. Para tanto, é necessário que estes gestores tenham ferramentas que os auxiliem nas análises e tomadas de decisão.

A necessidade destas ferramentas já tinha sido identificada por volta da década de 70, quando surgiram os primeiros Sistemas de Gerência de Pavimentos. Desde então, o número de pesquisas nesta área vem aumentando e tem-se procurado desenvolver e melhorar as ferramentas, utilizando para tanto, as pesquisas em pavimentação.

Um fato percebido durante a pesquisa foi a constatação de que órgãos governamentais (DER) têm procurado o aperfeiçoamento das técnicas e ferramentas que os auxiliam na gerência de rodovias sob sua responsabilidade.

O objetivo deste trabalho foi o de desenvolver uma metodologia que auxiliasse os gestores de agências públicas ou privadas na Gerência de Pavimentos, para isso, foi desenvolvido um protótipo que prevê a evolução da condição do pavimento e, utilizando as restrições definidas pelo gestor, simula as intervenções necessárias ao pavimento e a condição do mesmo após a intervenção.

A determinação do desempenho de uma rodovia não é uma tarefa simples, já que há muitos modelos de previsão e cada um deles resulta de um determinado conjunto de condições. Entretanto, a

adoção de modelos é uma ferramenta extremamente útil, quando calibrados ao longo do tempo pelo próprio gestor, que poderá inclusive alterar o modelo e adaptá-lo à sua realidade. O modelo de previsão implementado no protótipo obteve resultados satisfatórios.

As etapas sugeridas para a Metodologia proposta são comuns e necessárias a todo Sistema de Gerência de Pavimentos. Portanto, as simplificações referem-se à não-utilização de uma avaliação econômica, o que permitiu que não fosse necessário realizar o cálculo do Custo Operacional dos Veículos (VOC), levando-se em conta apenas os aspectos técnico-construtivos da rodovia, a utilização do Número Estrutural Corrigido e dos Fatores Climáticos como constantes.

## 7.2 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a implementação e acompanhamento do Sistema de Gerência de Pavimentos para os devidos ajustes com o desenvolvimento de um estudo de caso utilizando dados reais em uma agência gestora ou órgão governamental para calibração e/ou melhoramento do modelo de previsão que pode ser feito para dar continuidade ao trabalho, pois a adequada calibração do modelo de previsão para o cenário onde será utilizado, é de fundamental importância para a alocação de recursos mais confiáveis.

O estudo do possível desenvolvimento de uma solução simplificada para o cálculo do Custo Operacional dos Veículos para implementação da análise econômica completa na rodovia.

A ampliação da utilização do protótipo para uma rede de rodovias e a utilização do SIG para a visualização das áreas com defeitos e necessitando de restauração/manutenção.



Fica também como recomendação, a implementação de modelos de previsão de desempenho e opções de intervenção para rodovias não-pavimentadas.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARAT, J. **A Evolução dos Transportes no Brasil**. IBGE: IPEA; Rio de Janeiro, 1978.
- BERNUCCI, L.L.B. **Considerações Sobre o Dimensionamento de Pavimentos Utilizando Solos Lateríticos Para Rodovias de Baixo Volume de Tráfego**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes), USP - Universidade de São Paulo; SP 1995.
- BERTHELOT, C.F.; SPARKS, G.A.; BLOME, T.; KAJNER, L.; NICKESON, M. **Mechanistic-Probabilistic Vehicle Operating Cost Model**. Journal of Transportation Engineering, Vol. 122, N°5, 1996.
- BRASILEIRO, A.; SANTOS, E.M.; ARAGÃO, J.J.G.; SENNA, J.M.; LIMA NETO, O.; ORRICO FILHO, R.D. **Transporte no Brasil: história e reflexões**. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes/GEIPOT, Ed. Universitária da UFPE, Recife, 2001.
- BUTT, A.A.; SHANIN, M.Y.; HUNTER, J.S.; CARNAHAN, J.V. **Application of Markov process to pavement management system at network level**. 3ª International Conference on Managing Pavements, San Antonio, Texas, 1994. Washington, D.C., TRB V.2.
- CALLAO, R.A. **DETOUR - Deterioration of Engineered Unpaved Roads Version 1.0**. The World Bank, 1999.
- CALLAO, R.A. **Roads Economic Decision Model (RED) for Economic Evaluation of Low Volume Roads**. The World Bank, 2003.
- CALLAO, R.A.; FAIZ, A. **Estimating Vehicle Operating Costs**. Series: World Bank Technical Paper, n° 234, Washington, 1987.

- CARVALHO, M. D.; HALLACK, A.; SILVA, E. L. S. **O projeto HDM-4 Federação Interamericana de Cimento (FICEM)**. 30ª Reunião Anual de Pavimentação, Salvador - Bahia: Associação Brasileira de Pavimentação, Volume IV, 1996.
- CNT - Confederação Nacional de Transportes. **Pesquisa Rodoviária - Relatório Gerencial**; CNT, 2004.
- CUNDILL, M. A. e WITHNALL, S.J. **Road Transport Investment Model RTIM3**. In Sixth International Conference on Low-Volume Roads, Transport Research Laboratory, Berkshire - England, 1993.
- DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Guia de Gerência de Pavimentos**. Rio de Janeiro: IPR, 1983.
- DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos**. Rio de Janeiro: IPR, 1998.
- DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **SGP - Sistema de Gerência de Pavimentos - Resultados**. Rio de Janeiro: IPR, 2001.
- DNER-ES 128/83 - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Levantamento da Condição de Superfície de Segmentos-testemunha de Rodovias de Pavimento Flexível ou semi-rígido para gerência de pavimentos a nível de rede**. Rio de Janeiro: IPR, 1983.
- DNER-PRO 10/79 - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis - Volume I**. Rio de Janeiro: DNER, 1979.
- DNER-PRO 159/85 - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos**. Rio de Janeiro: DNER, 1985.

- DOMINGUES, F.A.A; CAMPOS, O.S. e REBAÇA, S.R. **Indicadores Para Avaliação da Condição dos Pavimentos da Rede DERSA**. 30ª Reunião Anual de Pavimentação, Salvador - Bahia: Associação Brasileira de Pavimentação, Volume IV, 1996.
- DUARTE, A.C.C. **Análise de Desempenho Ambiental de Rodovias Concessionadas**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2002.
- ESSE, V. e RODRIGUES; R. M. **Análise Crítica de Modelos Mecanístico-Empíricos para Previsão de Desempenho de Pavimentos Flexíveis com Base nos Experimentos LTPP-FHWA-DATAPAVE 2.0**. IX ENCITA - Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA: São José dos Campos - São Paulo, 2003.
- FONSECA, V.M.R. **Racionalização dos Investimentos em Pavimentação Rodoviária**. 30ª Reunião Anual de Pavimentação, Salvador - Bahia: Associação Brasileira de Pavimentação, Volume IV, 1996.
- FRAENKEL, B.B. **Engenharia Rodoviária**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A, 1980.
- GEIPOT - EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES. **Pesquisa sobre o Inter-Relacionamento dos Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias** - Relatório Final, Brasília, Volume VII, 1982.
- GENDRAU, M. e SORIANO, P. **Airport Pavement Management Systems: An Appraisal of Existing Methodologies**. Transportation Research A, Vol. 32, pp 197 -214, 1998.
- HASS, R. **Reinventing the (Pavement Management) Wheel**. Fifth International Conference On Managing Pavements, Seattle, Washington, 2001. Disponível em: <http://www.asphalt.org>. Acessado em 15 de março de 2004.

- HEYN, A.T. **Algumas considerações sobre sistema de gerência de pavimentos**. 26<sup>a</sup> Reunião Anual de Pavimentação, Aracaju - Sergipe: Associação Brasileira de Pavimentação, 1992.
- MARCON, A.F. Contribuição a desenvolvimento de um Sistema de **Gerência de Pavimentos para o Estado de Santa Catarina**. Tese de Doutorado- ITA, 1996.
- MRAWIRA, D. e HAAS, R. **Towards Adapting the HDM-III Model to Local Conditions: Lessons from a case Study in Tanzania**. Transportation Research Board, 75<sup>a</sup> Annual Meeting, Washington - D.C, 1996. Disponível em: <http://www.unb.ca> . Acessado em Abril de 2004.
- MRAWIRA, D.; HAAS, R. e PATERSON, W.D.O. **Streamlining the World Bank's HDM-III Model for Network Level application**. Proceedings, 4th International Conference on Managing Pavements. Durban, South Africa, Vol. 2, pp.719-736, May, 1998. Disponível em: <http://www.unb.ca> . Acessado em Abril de 2004.
- MRAWIRA, D.; WELCH, W.J.; SHONLAU, M. e HAAS, R. **Sensitivity Analysis Of Computer Models: World Bank HDM-III Model**. **Journal of Transportation Engineering**, Vol. 125, No. 5, September/October, 1999. Disponível em: <http://www.unb.ca> . Acessado em Abril de 2004.
- N.D. LEA INTERNATIONAL LTD. **Road Deterioration and Maintenance Effects in HDM-4**. Final Report. Asia Development Bank, Manila, Philippines, 1995. Disponível em: <http://www.lpcb.org>. Acessado em junho de 2004.
- ODOKI, J.B. e KERALY, H.R. **Analytical Framework and Model Descriptions**. The Highway Development and Management Series, The World Bank, Washington - DC, 1999.

- PATERSON, W.D.O. **Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management.** John Hopkins Press. Baltimore, USA, 1987.
- QUEIROZ, C.A.V. **Modelos de Desempenho de Pavimentos Desenvolvimento e Aplicação.** IPR - Instituto de Pesquisa Rodoviária. Rio de Janeiro, 1982.
- QUEIROZ, C.A.V. **Modelos de Previsão de Desempenho para a Gerência de Pavimentos.** IPR - Instituto de Pesquisa Rodoviária. Rio de Janeiro, 1984.
- QUEIROZ, C.A.V.; MAGALHÃES, J.P.; COELHO, P.S.M. **O Estado da Arte da Gerência de Pavimentos no Brasil.** IPR - Instituto de Pesquisa Rodoviária. Rio de Janeiro, 1986.
- RIBEIRO, C. M. **Uma Proposta de Sistematização de Análises em Nível de Projeto Para Gerência de Pavimentos Aeroportuários.** Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.
- ROBERTSON, N. **Introducing HDM-4 - Software for investigating road investment choices.** Seminar on HDM-4 Technology , The World Road Association. Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <http://www.mwhglobal.co.nz> . Acessado em Abril de 2004.
- SENNA, L.A.S. e MICHEL, F.D. **Concessões de Rodovias no Rio Grande do Sul.** Laboratório de Sistemas de Transportes Escola de Engenharia, UFRRS, 2003. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/Lastran>. Acessado em Março de 2005.
- SILVA, L. F. M. **Fundamentos Teórico- experimentais da Mecânica dos Pavimentos Ferroviários e Esboço de um Sistema de Gerência Aplicado à Manutenção da Via Permanente.** Tese

(Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2002.

WATANADA, T.; HARRAL, C.G.; PATERSON, W.D.O.; DHARESHWAR, A.M.; BHANDARI, A. e TSUNOKAVA, K. **Description of the HDM III Model.** The Highway Design and Maintenance Standards Model Series. Vol. I. John Hopkins Press. Baltimore, USA, 1987.

YSHIBA, J.K. e FERNANDES JUNIOR. **Modelos de Desempenho de Pavimentos: Estudo de Rodovias do Estado do Paraná.** 34<sup>a</sup> Reunião Anual de Pavimentação, Campinas - São Paulo: Associação Brasileira de Pavimentação, 2003.