Campus de São Carlos

*DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE DESEMPENHO PARA
UTILIZAÇÃO EM SISTEMAS DE GERÊNCIA DE
PAVIMENTOS URBANOS*

LUIZ FRANCISCO ZERBINI

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ LEOMAR FERNANDES JÚNIOR

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

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

**DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE
DESEMPENHO PARA UTILIZAÇÃO EM SISTEMAS DE
GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS**

Luiz Francisco Zerbini

**Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade
de São Paulo, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Transportes.**

Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior

São Carlos

1999

Class.	TESE-EESC
Cutt.	6384
Tombo	223/99

1060 528

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Zerbini, Luiz Francisco
Z58d Desenvolvimento de modelos de desempenho para
utilização em sistemas de gerência de pavimentos
urbanos / Luiz Francisco Zerbini. -- São Carlos, 1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.

Área: Transportes.

Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior.

1. Modelos de desempenho. 2. Gerência de pavimentos
urbanos. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **LUIZ FRANCISCO ZERBINI**

Dissertação defendida e aprovada em 25-06-1999
pela Comissão Julgadora:

Prof. Doutor **ANTÔNIO NELSON RODRIGUES DA SILVA (Substituto)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **EDSON MARTINS DE AGUIAR**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Profa. Doutora **ELIANE VIVIANI**
(UNESP – Campus de Bauru)

Prof. Doutor **ANTÔNIO NELSON R. DA SILVA**
Coordenador da Área de Transportes

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, aos meus irmãos e
à minha esposa, Silvia.*

AGRADECIMENTOS

ao amigo e orientador Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior;

à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela Bolsa de Mestrado concedida;

ao Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da USP, onde tive à disposição todos os recursos materiais necessários para a elaboração deste trabalho;

aos professores do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da USP, que muito contribuíram com sugestões e incentivos, particularmente ao Prof. Dr. Antônio Néelson Rodrigues da Silva;

aos funcionários do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da USP, pelo apoio técnico e administrativo;

ao Eng^o Sebastião Brito Fernandes, responsável pela Divisão de Pavimentação do Departamento de Obras da Prefeitura de Araraquara, que contribuiu para a composição dos dados do inventário;

às engenheiras Eunice Satie Shoji e Sandra Aparecida Margarido Bertollo, que participaram do painel de avaliadores, contribuindo para o desenvolvimento dos modelos de desempenho;

à Eng^a Sandra Oda, pela revisão final deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	ix
RESUMO.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Apresentação do problema.....	1
1.2 - Importância.....	3
1.3 - Objetivo.....	4
1.4 - Estrutura do trabalho.....	4
CAPÍTULO 2 - SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS.....	5
2.1 - Definições básicas.....	5
2.2 - Níveis de gerência de pavimentos.....	8
2.3 - Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos.....	9

2.4 - Implementação da gerência de pavimentos urbanos.....	10
2.4.1 - Identificação dos ramos.....	11
2.4.2 - Identificação das seções.....	11
2.4.3 - Inventário.....	13
2.4.4 - Avaliação da condição dos pavimentos.....	15
2.4.4.1 - Levantamento de defeitos no campo.....	17
2.4.4.2 - Manuais de identificação de defeitos.....	18
2.4.4.3 - Índices combinados de defeitos.....	21
 CAPÍTULO 3 - MODELOS DE DESEMPENHO.....	 27
3.1 - Considerações iniciais.....	27
3.2 - Classificação.....	28
3.3 - Modelos empíricos.....	31
3.4 - Modelos subjetivos.....	34
3.4.1 - Processo de Markov.....	34
3.4.2 - Métodos formais de entrevistas.....	38
3.4.3 - Método de Delfos.....	38
 CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO.....	 40
4.1 - Introdução.....	40
4.2 - Implementação da gerência de pavimentos urbanos.....	41
4.2.1 - Identificação dos ramos.....	41
4.2.2 - Identificação das seções.....	41
4.2.3 - Inventário.....	45
4.2.4 - Programação fatorial.....	45
4.2.5 - Avaliação da condição dos pavimentos.....	49

4.3 - Modelos empíricos.....	51
4.3.1 - Modelo para avaliação dos efeitos dos fatores.....	51
4.3.2 - Modelos de desempenho.....	56
4.4 - Modelos subjetivos.....	61
 CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	 65
5.1 - Análise dos modelos empíricos.....	65
5.1.1 - Análise do modelo ajustado para avaliação dos efeitos dos fatores	65
5.1.2 - Análise dos modelos de desempenho.....	68
5.2 - Análise dos modelos subjetivos.....	86
 CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES.....	 108
 ANEXO A.....	 111
 ANEXO B.....	 115
 ANEXO C.....	 128
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 138

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 - SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS.....	5
Figura 2.1: Exemplo de estratégia de intervenção em um pavimento.....	6
Figura 2.2: Fluxo de informações - Processo de gerência de pavimentos (modificado de GOPINATH et al., 1994).....	8
Figura 2.3: Níveis de gerência de pavimentos.....	9
Figura 2.4: Conceito de serventia.....	21
Figura 2.5: Formulário para avaliação do VSA (DNER, 1978).....	22
CAPÍTULO 3 - MODELOS DE DESEMPENHO.....	27
Figura 3.1: Processo iterativo de aprendizagem (BOX et al., 1978).....	32
Figura 3.2: O processo de aprendizagem - Curva de realimentação (BOX et al., 1978).....	32
Figura 3.3: Representação esquemática de estado, vetor estado e ciclo de solicitação (BUTT, 1991).....	36
CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO.....	40
Figura 4.1: Mapa para localização de Araraquara no Estado de São Paulo.....	40

Figura 4.2: Representação esquemática da estrutura de pavimento utilizada em vias arteriais de Araraquara-SP.....	42
Figura 4.3: Representação esquemática da estrutura de pavimento utilizada em vias coletoras e locais de Araraquara-SP.....	43
Figura 4.4: Formulário para identificação de seções pavimentadas.....	49
Figura 4.5: Formulário para avaliação da condição atual de seções pavimentadas.....	50
Figura 4.6: Representação geométrica do experimento.....	52
Figura 4.7: Formulário para composição de vetores estado inicial e de matrizes de probabilidades de transição.....	64
CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	65
Figura 5.1: Gráfico de resíduos do modelo empírico ajustado para avaliação dos efeitos dos fatores.....	67
Figura 5.2: Gráfico de resíduos <i>versus</i> valores de previsão (Modelo empírico ajustado para avaliação dos efeitos dos fatores).....	67
Figura 5.3: Gráfico para análise do modelo de desempenho empírico de seções de vias arteriais.....	68
Figura 5.4: Gráfico de resíduos <i>versus</i> valores de previsão (Modelo de desempenho empírico de seções de vias arteriais)..	70
Figura 5.5: Gráfico de resíduos <i>versus</i> valores da variável tempo (Modelo de desempenho empírico de seções de vias arteriais)..	70
Figura 5.6: Gráfico para análise do modelo de desempenho empírico de seções de vias coletoras.....	71

Figura 5.7: Gráfico de resíduos <i>versus</i> valores de previsão (Modelo de desempenho empírico de seções de vias coletoras)	73
Figura 5.8: Gráfico de resíduos <i>versus</i> valores da variável tempo (Modelo de desempenho empírico de seções de vias coletoras)	73
Figura 5.9: Gráfico para análise do modelo de desempenho empírico de seções de vias locais.....	74
Figura 5.10: Gráfico de resíduos <i>versus</i> valores de previsão (Modelo de desempenho empírico de seções de vias locais).....	76
Figura 5.11: Gráfico de resíduos <i>versus</i> valores da variável tempo (Modelo de desempenho empírico de seções de vias locais).....	76
Figura 5.12: Gráfico para análise do modelo de desempenho empírico de seções submetidas a atividades de M&R.....	77
Figura 5.13: Gráfico de resíduos <i>versus</i> valores de previsão (Modelo de desempenho empírico de seções submetidas a atividades de M&R).....	79
Figura 5.14: Gráfico de resíduos <i>versus</i> valores da variável tempo (Modelo de desempenho empírico de seções submetidas a atividades de M&R).....	79
Figura 5.15: Gráfico para análise do modelo de desempenho empírico de seções não submetidas a atividades de M&R.....	80
Figura 5.16: Gráfico de resíduos <i>versus</i> valores de previsão (Modelo de desempenho empírico de seções não submetidas a atividades de M&R).....	82

Figura 5.17: Gráfico de resíduos <i>versus</i> valores da variável tempo (Modelo de desempenho empírico de seções não submetidas a atividades de M&R).....	82
Figura 5.18: Gráfico para análise da influência da variável classificação funcional (Modelos de desempenho empíricos).....	83
Figura 5.19: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R (Modelos de desempenho empíricos).....	85
Figura 5.20: Gráfico para análise da influência da variável ano de construção em seções de vias arteriais submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos).....	88
Figura 5.21: Gráfico para análise da influência da variável ano de construção em seções de vias arteriais não submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos).....	89
Figura 5.22: Gráfico para análise da influência da variável ano de construção em seções de vias coletoras submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos).....	90
Figura 5.23: Gráfico para análise da influência da variável ano de construção em seções de vias coletoras não submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos).....	91
Figura 5.24: Gráfico para análise da influência da variável ano de construção em seções de vias locais submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos).....	92
Figura 5.25: Gráfico para análise da influência da variável ano de construção em seções de vias locais não submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos).....	93

Figura 5.26: Gráfico para análise da influência da variável classificação funcional em seções antigas submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos).....	94
Figura 5.27: Gráfico para análise da influência da variável classificação funcional em seções antigas não submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos).....	95
Figura 5.28: Gráfico para análise da influência da variável classificação funcional em seções intermediárias submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos).....	96
Figura 5.29: Gráfico para análise da influência da variável classificação funcional em seções intermediárias não submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos).....	97
Figura 5.30: Gráfico para análise da influência da variável classificação funcional em seções novas submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos).....	98
Figura 5.31: Gráfico para análise da influência da variável classificação funcional em seções novas não submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos).....	99
Figura 5.32: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias arteriais antigas (Modelos de desempenho subjetivos).....	100
Figura 5.33: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias arteriais intermediárias (Modelos de desempenho subjetivos).....	101

Figura 5.34: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias arteriais novas (Modelos de desempenho subjetivos).....	101
Figura 5.35: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias coletoras antigas (Modelos de desempenho subjetivos).....	103
Figura 5.36: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias coletoras intermediárias (Modelos de desempenho subjetivos).....	103
Figura 5.37: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias coletoras novas (Modelos de desempenho subjetivos).....	104
Figura 5.38: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias locais antigas (Modelos de desempenho subjetivos).....	105
Figura 5.39: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias locais intermediárias (Modelos de desempenho subjetivos).....	106
Figura 5.40: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias locais novas (Modelos de desempenho subjetivos).....	106

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO.....	40
Tabela 4.1: Estrutura de pavimento utilizada em vias arteriais de Araraquara-SP.....	42
Tabela 4.2: Estrutura de pavimento utilizada em vias coletoras e locais de Araraquara-SP.....	43
Tabela 4.3: Relação entre classificação funcional e tráfego (Araraquara-SP).....	45
Tabela 4.4: Matriz da programação fatorial e resultados da avaliação da condição atual dos pavimentos de Araraquara-SP.....	47
Tabela 4.5: Seções selecionadas na rede pavimentada urbana de Araraquara-SP.....	48
Tabela 4.6: Resumo dos efeitos dos fatores e média das respostas.....	54
Tabela 4.7: Dados para o desenvolvimento do modelo de desempenho empírico de seções de vias arteriais.....	57
Tabela 4.8: Dados para o desenvolvimento do modelo de desempenho empírico de seções de vias coletoras.....	58
Tabela 4.9: Dados para o desenvolvimento do modelo de desempenho empírico de seções de vias locais.....	58

Tabela 4.10: Dados para o desenvolvimento do modelo de desempenho empírico de seções submetidas a atividades de M&R.....	60
Tabela 4.11: Dados para o desenvolvimento do modelo de desempenho empírico de seções não submetidas a atividades de M&R.....	61
CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	65
Tabela 5.1: Valores de previsão e resíduos (Modelo empírico ajustado para avaliação dos efeitos dos fatores).....	66
Tabela 5.2: Valores da variável tempo, valores de previsão e resíduos (Modelo de desempenho empírico de seções de vias arteriais)..	69
Tabela 5.3: Valores da variável tempo, valores de previsão e resíduos (Modelo de desempenho empírico de seções de vias coletoras)	72
Tabela 5.4: Valores da variável tempo, valores de previsão e resíduos (Modelo de desempenho empírico de seções de vias locais).....	75
Tabela 5.5: Valores da variável tempo, valores de previsão e resíduos (Modelo de desempenho empírico de seções submetidas a atividades de M&R).....	78
Tabela 5.6: Valores da variável tempo, valores de previsão e resíduos (Modelo de desempenho empírico de seções não submetidas a atividades de M&R).....	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO	- <i>American Association of State Highways Officials</i>
AASHTO	- <i>American Association of State Highways and Transportation Officials</i>
DNER	- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
EESC-USP	- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo
FHWA	- <i>Federal Highway Administration</i>
GEIPOT	- Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
HDM	- <i>Highway Design and Maintenance Standards Model</i>
HRB	- <i>Highway Research Board</i>
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP	- Índice de Condição do Pavimento
ICR	- Índice de Conforto de Rolamento
IGG	- Índice de Gravidade Global
IGI	- Índice de Gravidade Individual
IRI	- Índice Internacional de Irregularidade

ISA	- Índice de Serventia Atual
LTPP	- <i>Long-Term Pavement Performance</i>
M&R	- Manutenção e Reabilitação
MID	- Manual de Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos
PICR	- Pesquisa Sobre o Inter-relacionamento dos Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias
PSI	- <i>Present Serviceability Index</i>
PSR	- <i>Present Serviceability Rating</i>
QI	- Quociente de Irregularidade
SHRP	- <i>Strategic Highway Research Program</i>
SGP	- Sistema de Gerência de Pavimentos
SGPU	- Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos
TRB	- <i>Transportation Research Board</i>
USACE	- <i>United States Army Corps of Engineers</i>
VDM	- Volume Diário Médio
VSA	- Valor de Serventia Atual

RESUMO

ZERBINI, L.F. - *Desenvolvimento de modelos de desempenho para utilização em Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos* - Dissertação de Mestrado - EESC - USP - São Carlos - 1999.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a adaptação de modelos de previsão de desempenho aos fatores que condicionam as atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos nas cidades brasileiras de médio porte. Faz-se uma revisão bibliográfica sobre Sistemas de Gerência de Pavimentos e modelos de desempenho. Realiza-se um estudo de caso com seções selecionadas na rede pavimentada urbana de Araraquara-SP, exemplo de cidade brasileira de médio porte. São desenvolvidos dois tipos de modelos: modelos empíricos, baseados em análises estatísticas de dados de pavimentos; e modelos subjetivos, com o desenvolvimento de matrizes de probabilidades de transição a partir de métodos formais de entrevistas com especialistas. Analisa-se a influência dos seguintes fatores sobre o desempenho de pavimentos urbanos: ano de construção, classificação funcional, atividades de manutenção e reabilitação, tráfego e estrutura do pavimento. Verifica-se uma significativa influência das atividades de manutenção e reabilitação. Nota-se, também, a necessidade de calibração periódica dos modelos de desempenho. Sugere-se a manutenção de arquivos de dados com informações sobre os fatores que afetam o desempenho dos pavimentos urbanos e sobre avaliações frequentes da condição dos pavimentos.

Palavras-chave: modelos de desempenho, gerência de pavimentos urbanos.

ABSTRACT

ZERBINI, L.F. - *Development of performance prediction models for utilization in Urban Pavement Management Systems* - Master Dissertation - EESC - USP - São Carlos - 1999.

This work presents the development of performance prediction models, considering the factors that govern the programming of pavement maintenance and rehabilitation in Brazilian medium-sized cities. A bibliographic revision about Pavement Management Systems and performance models is pointed out. It is shown a case study with sections selected in the urban pavement network of Araraquara-SP, example of Brazilian medium-sized city. Two types of performance prediction models are developed: empirical models, based on statistics analyses of pavement data; and subjective models, based on the development of transition probability matrices from expert opinions. It is investigated the influence of the following factors on the performance of urban pavements: year of construction, functional category, maintenance and rehabilitation activities, traffic, and pavement structure. An expressive influence of the factor maintenance and rehabilitation activities is verified. It is also noticed the necessity of periodic calibration of the performance models. Maintenance of data files with information about the factors that act on the performance of urban pavements, and about frequent evaluations of the pavement condition is suggested.

Keywords: performance models, urban pavement management.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório, apresenta-se o assunto da dissertação, ressaltando a importância do problema analisado e expondo o objetivo e a estrutura do trabalho.

1.1 - Apresentação do problema

A falta de recursos, comum a quase todos os setores da administração pública municipal, influi negativamente também sobre as atividades de pavimentação nas cidades brasileiras. Uma ferramenta capaz de reduzir a dimensão do problema é a gerência de pavimentos urbanos, que visa otimizar essas atividades, dando o máximo retorno possível para os recursos disponíveis e melhorando a eficiência dos organismos viários municipais.

A escassez de arquivos com informações sobre projetos executados anteriormente, a utilização de procedimentos ultrapassados e inadequados de manutenção, a falta de controle de qualidade e a tomada de decisões isoladas em relação ao planejamento de toda a rede são fatores que agravam o problema da administração pública municipal, principalmente nas cidades de pequeno e médio porte.

Nessas cidades, as decisões são tomadas, frequentemente, como respostas às necessidades emergentes, às pressões políticas ou à completa deterioração de algumas vias. Não tem sido dada importância às fases de planejamento, dimensionamento e execução das estruturas de pavimento, gerando necessidades precoces de intervenções de manutenção e reabilitação que consomem desnecessariamente os já limitados orçamentos das cidades.

Mesmo reconhecendo ser impossível a obtenção de bons resultados sem os recursos necessários, deve-se, no âmbito das universidades e centros de pesquisa, buscar ferramentas que facilitem a implementação de Sistemas de Gerência de Pavimentos nas prefeituras municipais. Entende-se que os conhecimentos e critérios de decisão necessários e utilizados pela gerência de pavimentos podem auxiliar na mudança de postura dos poderes legislativo e executivo diante dos problemas de pavimentação.

Alguns programas computacionais têm sido desenvolvidos, particularmente nos Estados Unidos, visando auxiliar a tomada de decisões em gerência de pavimentos urbanos. Dentre as informações requeridas pelos Sistemas de Gerência de Pavimentos, uma das mais importantes é a condição dos pavimentos, geralmente representada pela serventia.

Desde a década de sessenta, quando o conceito de serventia foi proposto (CAREY & IRICK, 1960), o desenvolvimento de bons modelos para a previsão do desempenho, ou seja, da variação do índice de serventia ou de algum outro índice de condição dos pavimentos em função da idade ou do número acumulado de aplicações do eixo padrão, tem sido um dos principais desafios dos engenheiros de pavimentos.

1.2 - Importância

Na gerência de pavimentos, as decisões podem ser tomadas em dois níveis: nível de rede e nível de projeto. O nível de rede envolve o processo de priorização entre um ou mais grupos de projetos (nível de seleção de projetos) e o processo orçamentário global com alocação de recursos para toda a rede (nível de programa). O nível de projeto envolve o processo de seleção de atividades de projeto, construção, manutenção ou reabilitação.

Em nível de seleção de projetos, são muito utilizados os modelos de priorização, que selecionam projetos para manutenção segundo um critério classificatório, baseado, dentre outros fatores, em um índice de condição de cada seção. No caso da gerência de pavimentos urbanos, as análises normalmente contemplam um período de pelo menos cinco anos. Torna-se, pois, necessária a utilização de modelos de desempenho, que permitam a seleção da estratégia mais adequada dentre diferentes estratégias de intervenção, não só em termos de custos iniciais, mas considerando todos os custos que ocorrem ao longo da vida em serviço dos pavimentos.

Em nível de programa, os sistemas de alocação de recursos incluem dois submodelos: o primeiro estima o desempenho futuro e o segundo aloca os recursos para as atividades de manutenção e reabilitação, baseados nos níveis estimados de desempenho do pavimento (modelos de desempenho e custos).

Em nível de projeto, os modelos de desempenho podem ser utilizados para a seleção de atividades de manutenção e reabilitação e para o dimensionamento de reforços, utilizando, por exemplo, o método da AASHTO (1986) ou a PRO-159 (DNER, 1985). Portanto, em todos os níveis de gerência, os modelos de desempenho são utilizados e têm grande importância.

1.3 - Objetivo

O objetivo desta pesquisa é o desenvolvimento e a adaptação de modelos de desempenho aos fatores que condicionam as atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos nas cidades brasileiras de médio porte. Pretende-se contribuir, assim, para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos, que permitam aos organismos municipais racionalizar o processo de tomada de decisões sobre as atividades de manutenção e reabilitação.

1.4 - Estrutura do trabalho

Apresenta-se no Capítulo 2 uma revisão bibliográfica sobre Sistemas de Gerência de Pavimentos, ressaltando as considerações sobre a implementação da gerência de pavimentos urbanos. Posteriormente, apresenta-se no Capítulo 3 uma revisão bibliográfica sobre modelos de desempenho, incluindo o método empregado para a previsão do desempenho de pavimentos urbanos, que envolve a utilização de modelos empíricos, baseados em análises estatísticas de dados de pavimentos; e modelos subjetivos (estocásticos), com o desenvolvimento de matrizes de probabilidades de transição a partir de métodos formais de entrevistas com especialistas. No Capítulo 4 faz-se um estudo de caso com seções selecionadas na rede pavimentada urbana da cidade de Araraquara-SP, exemplo de cidade brasileira de médio porte. No Capítulo 5 apresenta-se a análise dos resultados, comparando os modelos empíricos e os subjetivos. Finalmente, no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho e as sugestões para pesquisas futuras, destacando a importância da manutenção de um banco de dados com informações sobre o desempenho dos pavimentos como ponto de partida para o sucesso da implementação dos Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos.

CAPÍTULO 2 - SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Neste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre os Sistemas de Gerência de Pavimentos. São abordadas, inicialmente, as definições mais comuns, os níveis de gerência e as diferenças entre a gerência de pavimentos de rodovias e a gerência de pavimentos urbanos. Posteriormente, são discutidas as considerações sobre a implementação da gerência de pavimentos urbanos.

2.1 - Definições básicas

Um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) é um conjunto de ferramentas ou métodos que auxilia a tomada de decisões na escolha de estratégias ótimas em relação às atividades de pavimentação, facilitando a coordenação de atividades dentro de um organismo rodoviário. Segundo HAAS et al. (1994), um Sistema de Gerência de Pavimentos apresenta como componentes principais o planejamento, o projeto, a construção, a manutenção, a avaliação e a pesquisa, que interagem entre si e são afetados por fatores externos, como orçamentos e políticas administrativas.

Para um completo entendimento dos Sistemas de Gerência de Pavimentos, é fundamental a definição dos conceitos e termos mais utilizados.

Estratégia é um plano ou método através do qual soluciona-se um problema, considerando todos os aspectos envolvidos no processo. Estratégia ótima é aquela estratégia, entre outras analisadas, que maximiza as metas da gerência, isto é, maximiza os benefícios gerados pela gerência.

A Figura 2.1 exemplifica uma estratégia de reabilitação, isto é, um plano para manter uma seção de pavimento em condições de serviço adequadas durante um período de tempo específico. Observa-se que, quando um pavimento atinge um nível de aceitabilidade mínimo, definido pelo organismo responsável pela gerência, é submetido a atividades de reabilitação, que, se realizadas adequadamente, podem restabelecer as condições de serviço iniciais.

Figura 2.1: Exemplo de estratégia de intervenção em um pavimento

Período de análise é um intervalo de tempo específico (ou número acumulado de aplicações de carga), ao longo do qual são analisadas estratégias alternativas. Na Figura 2.1 o período de análise corresponde a dois ciclos de vida do pavimento, desde a sua construção. Durante o período ilustrado, ocorre a execução de uma atividade de reabilitação.

Modelo de previsão é uma função matemática que descreve o desempenho do pavimento, isto é, a variação da serventia ou de qualquer outro índice de condição do pavimento ao longo do período de análise. Na Figura 2.1 o desempenho da seção de pavimento é representado pelas duas curvas decrescentes, que indicam a deterioração do pavimento após a sua construção e após a execução da atividade de reabilitação.

Modelo de otimização é um algoritmo matemático que compara estratégias alternativas e classifica cada estratégia de acordo com o critério de decisão estabelecido, como segurança, custo etc.

Além disso, para a implementação da gerência de pavimentos, deve-se compor o inventário com as informações necessárias para a identificação e descrição das seções de pavimento e obter a condição atual do pavimento, através de levantamentos de campo.

É importante também a quantificação das necessidades de recursos, possível a partir da identificação do custo unitário médio das ações previstas por cada estratégia e do volume de serviço fornecido pelo inventário. Como, em geral, as necessidades não são atendidas em sua totalidade em um determinado ano, devem ser estabelecidas as prioridades.

Uma característica peculiar dos Sistemas de Gerência de Pavimentos é a realimentação (Figura 2.2). Dentro de um ciclo, de maneira geral, a solução para a gerência de pavimentos começa com a coleta e análise dos dados e termina com a seleção das estratégias de manutenção e reabilitação e a previsão orçamentária para o período de análise. Entre essas etapas, tem-se a análise e modelagem do desempenho.

Figura 2.2: Fluxo de informações - Processo de gerência de pavimentos
(modificado de GOPINATH et al., 1994)

2.2 - Níveis de gerência de pavimentos

Convencionou-se tratar a gerência de pavimentos em dois níveis: a gerência em nível de rede e a gerência em nível de projeto (Figura 2.3).

Em nível de rede, são tomadas decisões administrativas que afetam os programas de toda a rede viária, tornando possível identificar o programa que apresenta o menor custo total ou o maior benefício em um período de análise determinado, ou seja, otimizando a utilização dos recursos disponíveis.

O nível de rede pode ainda ser subdividido em nível de seleção de projeto e nível de programa (Figura 2.3). Em nível de seleção de projeto, são tomadas decisões sobre os recursos necessários para projetos específicos ou grupos de projetos através de modelos de priorização. É possível identificar quais projetos devem ser executados em cada ano do período de análise. Em nível de programa, são tomadas decisões que envolvem a manutenção ou reabilitação da rede como um todo. Nesse nível a alocação dos recursos é o principal objetivo e os modelos devem otimizar o uso desses recursos.

Em nível de projeto, são tomadas decisões técnicas de gerência para projetos específicos, isto é, há um detalhamento maior nas alternativas de atividades de projeto, construção, manutenção ou reabilitação para uma seção particular dentro do programa total. Uma estratégia ótima é selecionada a partir da comparação de benefícios e custos associados às diversas estratégias alternativas.

Figura 2.3: Níveis de gerência de pavimentos

Em outras palavras, a gerência em nível de rede tem como propósito inicial o desenvolvimento de um programa de priorização do trabalho, de acordo com o orçamento disponível. Após a priorização, a implementação real da estratégia fica a cargo da gerência em nível de projeto.

2.3 - Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos

A falta de recursos para a manutenção e reabilitação do sistema de rodovias não fica restrita ao nível estadual. Os organismos viários municipais também enfrentam o problema de deterioração das vias e redução dos fundos públicos.

Dentre as alternativas disponíveis, esses organismos deveriam considerar os Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU). Assim, não só estariam conseguindo elevar o nível de serviço de toda a rede viária, como também reduziriam os custos totais (incluindo os custos de operação dos veículos), desenvolveriam um inventário das vias e justificariam eventuais aumentos no orçamento, gerados pelas atividades de manutenção e reabilitação.

De maneira geral, os conceitos da gerência de pavimentos são válidos tanto para rodovias como para vias urbanas. No entanto, a gerência de pavimentos urbanos apresenta algumas particularidades, discutidas a seguir.

A primeira delas refere-se às descontinuidades estruturais causadas pelas instalações de serviços públicos (água, esgoto, energia elétrica etc.), a segunda diz respeito à geometria das vias, que são geralmente dispostas de modo a formar uma malha, sendo a forma perpendicular de interseção a mais comum.

Quanto às solicitações do tráfego, que influem no dimensionamento dos pavimentos, a frota urbana diferencia-se por ser composta de automóveis, utilitários e ônibus urbanos, com pouca presença de veículos de carga pesada, que geralmente têm tráfego restrito nas cidades. Além disso, o fluxo descontínuo e as velocidades de operação mais baixas também distinguem os Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos dos Sistemas de Gerência de Pavimentos de rodovias.

2.4 - Implementação da gerência de pavimentos urbanos

O primeiro passo no estabelecimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos é a identificação e definição da rede (SHAHIN, 1994). Uma vez definida, a rede é dividida em ramos e seções.

Um ramo é uma parte identificável da rede, como, por exemplo, uma via local, e pode ser dividido em uma ou mais seções uniformes. As seções podem ser classificadas baseadas na sua localização dentro da rede ou em qualquer outro fator pertinente para o organismo. O próximo passo é a coleta de dados do inventário e a avaliação da condição dos pavimentos das seções identificadas.

2.4.1 - Identificação dos ramos

O caminho mais fácil para identificar os ramos de uma rede viária é utilizar os próprios nomes de identificação usados pelo organismo no mapeamento das vias. Cada rua pode ser identificada como um ramo separado e distinto.

No sistema PAVÉR¹, por exemplo, cada ramo é identificado de duas formas: por uma descrição alfanumérica chamada “nome do ramo” e por um código alfanumérico chamado “número do ramo”. Cada seção é representada por um código alfanumérico chamado “número da seção”, que é usado para armazenar e recuperar todas as informações das seções contidas na base de dados (SHAHIN & KOHN, 1982).

2.4.2 - Identificação das seções

Normalmente, um ramo é muito extenso e, nem sempre, apresenta características semelhantes ao longo de toda a sua extensão. Por essa razão, os ramos são divididos em componentes menores, denominadas seções. Uma seção é a menor unidade para a gerência, quando da análise da aplicação e seleção de tratamentos de manutenção e reabilitação.

¹ O sistema PAVÉR é um programa computacional de gerência de pavimentos urbanos desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos.

Cada ramo possui pelo menos uma seção, mas pode possuir mais se as características do pavimento ou outros fatores que condicionam o seu desempenho variarem ao longo do ramo.

Em geral, os fatores considerados na divisão dos ramos em seções são: estrutura do pavimento, histórico de construção, classificação funcional, tráfego, elementos de drenagem e condição do pavimento (SHAHIN, 1994).

A estrutura do pavimento é um dos mais importantes critérios para a divisão dos ramos em seções. A composição estrutural (espessuras e materiais) deve ser semelhante ao longo de toda a seção.

Todos os pavimentos dentro de uma dada seção devem ter o mesmo histórico de construção. Pavimentos construídos em épocas diferentes, por diferentes construtores, ou usando diferentes materiais ou técnicas construtivas devem ser considerados em seções separadas. Trechos que tenham recebido algum tipo de reparo também devem ser considerados como seções separadas.

Caso a classificação funcional e o volume de tráfego sejam diferentes ao longo do comprimento do ramo, este ramo também deve ser dividido em seções. Deve-se considerar, ainda, a influência dos elementos de drenagem sobre o desempenho dos pavimentos.

A condição de cada seção pode ser usada para subdividi-la em outras seções se existir uma variação considerável. A condição é uma importante variável porque reflete muitos dos fatores discutidos anteriormente. Quanto à avaliação da condição dos pavimentos, devem ser levados em consideração o tipo, a severidade e extensão de cada um dos defeitos encontrados.

Cada organismo municipal também deve considerar a produtividade dos serviços de manutenção e reabilitação e a interrupção do tráfego para a execução desses serviços. As seções não podem ser pequenas demais em razão da produtividade. Por outro lado, se forem extensas demais, as características podem não ser as mesmas ao longo de cada seção. Normalmente, para que isso não ocorra e para evitar problemas de tráfego em função de sua interrupção, utiliza-se o quarteirão (seção limitada pelos cruzamentos de um ramo com outros ramos) como a menor unidade da gerência de pavimentos urbanos.

2.4.3 - Inventário

Após a definição das seções da rede pavimentada urbana, é necessária a composição do inventário das seções. O inventário é o processo de coleta e organização dos dados essenciais para a implementação de um Sistema de Gerência de Pavimentos. Antes, porém, deve-se analisar as dificuldades enfrentadas pela grande maioria dos organismos municipais, que não dispõe sequer do inventário das vias urbanas nem de informações referentes à estrutura do pavimento.

Segundo HAAS et al. (1994), os fatores que afetam o desempenho dos pavimentos são: tipo e espessura do pavimento; cargas e volumes de tráfego; suporte e tipo de subleito; e efeitos ambientais e regionais. Nesta pesquisa, faz-se um estudo sobre os fatores que têm influência sobre o desempenho de pavimentos urbanos, particularmente em cidades brasileiras de médio porte. Quanto às solicitações do tráfego, a frota urbana diferencia-se por ser composta de automóveis, utilitários e ônibus urbanos, com pouca presença de veículos de carga pesada. A consideração de fatores ambientais e regionais, em função da pequena abrangência geográfica, também não se aplica aos Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos.

Durante a Pesquisa Sobre o Inter-relacionamento dos Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias (PICR), realizada no Brasil no final da década de setenta e financiada pelo Banco Mundial (2 milhões de dólares) e pelo governo brasileiro (15 milhões de dólares), foram desenvolvidos modelos de desempenho empírico-mecanísticos, baseados no volume e nas cargas de tráfego e nas características dos materiais de cada seção, tendo como variáveis dependentes a irregularidade longitudinal, a profundidade das trilhas de roda (deformação permanente) e a área de trincas e remendos (GEIPOT, 1981).

Apesar de apresentarem limitações, os modelos de desempenho resultantes da PICR têm sido empregados pelos organismos rodoviários que utilizam o programa HDM-III² (*Highway Design and Maintenance Standards Model*) para a gerência de seus pavimentos. A utilização desses modelos em Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos apresenta, no entanto, sérios inconvenientes técnicos, além de limitações inerentes a modelos com coeficiente de determinação inferior a 0,5, pois as medidas de irregularidade longitudinal e a profundidade das trilhas de roda, importantes fatores para as rodovias, não exercem influência significativa sobre o conforto e a segurança dos usuários de pavimentos urbanos, na medida em que estes apresentam velocidades de operação bem mais baixas.

Para o desenvolvimento dos modelos de desempenho a serem utilizados por Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos, particularmente nas cidades brasileiras de médio porte, devem ser, portanto, considerados os seguintes fatores: tipo e estrutura do pavimento; classificação funcional das vias; tráfego; e histórico de construção, manutenção e reabilitação dos pavimentos.

² O HDM III é um programa computacional de gerência de pavimentos de rodovias, com modelos de desempenho e custos, desenvolvido por centros de pesquisa dos Estados Unidos, Inglaterra e França, em projetos coordenados e financiados, ao menos em parte, pelo Banco Mundial.

Assim, o inventário das seções deve conter os seguintes dados:

- descrição e identificação das seções: código (classe funcional e administrativa, número e quadra), nome da rua, nome dos marcos de início e fim da seção (quarteirão), tipo de pavimento (flexível ou rígido);
- características geométricas: comprimento, largura, número de faixas, tipo, espessuras e materiais das camadas (incluindo a caracterização do subleito), número de recapeamentos;
- tráfego: volume diário médio (VDM), taxa de crescimento, porcentagem de caminhões e ônibus;
- histórico: ano de construção, ano da última atividade de manutenção e reabilitação, data e tipo das sucessivas atividades de manutenção e reabilitação e custos associados.

2.4.4 - Avaliação da condição dos pavimentos

Uma importante característica de um Sistema de Gerência de Pavimentos é a habilidade tanto de determinar a condição atual da rede de pavimentos como de prever a condição futura.

A previsão da evolução da condição dos pavimentos, através dos modelos de desempenho, é baseada em repetidas avaliações. Tais avaliações fornecem informações importantes para o controle de determinada seção de pavimento em relação ao nível de serviço oferecido aos seus usuários.

A quantificação da condição do pavimento é imprescindível para a priorização e seleção de projetos e de estratégias de manutenção e reabilitação e para a previsão orçamentária e alocação de recursos. As formas de avaliação da condição de um pavimento são:

- avaliação funcional (qualidade de rolamento);
- avaliação estrutural;
- avaliação da segurança (coeficiente de atrito pneu-pavimento);
- levantamento de defeitos no campo (tipo, severidade e extensão).

Dadas as particularidades dos Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos, a avaliação da condição atual das seções pode ser efetuada apenas por levantamento de defeitos no campo.

A avaliação estrutural, com equipamentos para medida de deflexão superficial (viga Benkelman, por exemplo), é útil apenas para análises detalhadas em nível de projeto, pois, quando usada para tomada de decisões em nível de rede, acarreta grande acréscimo nos custos.

Já a avaliação funcional, com equipamentos para medida da irregularidade longitudinal (desde os simples medidores do tipo resposta até os sofisticados perfilômetros), é útil apenas nas vias de trânsito rápido (acima de 60 km/h).

Finalmente, a avaliação do atrito superficial pneu-pavimento, relacionada à segurança, ainda é muito pouco utilizada no Brasil, mesmo para pavimentos de aeroportos, muito mais sensíveis à questão de segurança.

2.4.4.1 - Levantamento de defeitos no campo

O objetivo de um levantamento de defeitos é quantificar o tipo, a severidade e a extensão de cada uma das formas de deterioração normalmente encontradas nas superfícies dos pavimentos da rede a ser analisada.

O levantamento de defeitos depende da interação de três componentes: usuário, veículo e pavimento. Para fins de gerência de pavimentos urbanos, o levantamento de defeitos no campo pode ser realizado de dentro de um veículo trafegando a baixa velocidade (20 a 30 Km/h) ou caminhando ao longo da seção. A vantagem do primeiro método é a cobertura de toda a rede, embora os dados levantados mediante caminhamento sejam mais precisos.

A Província de Ontario, Canadá, procura combinar as vantagens desses dois métodos. O levantamento é feito de dentro de um veículo trafegando a uma velocidade de aproximadamente 30 Km/h e, para determinar o tipo e a severidade do defeito, o avaliador faz duas ou três paradas por seção (HAAS et al., 1994).

O levantamento por amostragem permite a obtenção de informações a respeito de valores populacionais desconhecidos, por meio da observação de apenas uma parte (amostra) do seu universo de estudo (população). Sua utilização em gerência de pavimentos urbanos reduz o tempo gasto para o levantamento de defeitos de toda a rede.

Desde que seja fornecido o tamanho adequado da amostra, sua seleção pode ser feita aleatoriamente, gerando uma boa avaliação das várias condições da rede pavimentada urbana. O tamanho da amostra depende da variabilidade dos defeitos, da precisão desejada, do tempo disponível e dos custos envolvidos.

Uma outra forma de seleção de seções para o levantamento de defeitos vem sendo realizada em alguns organismos rodoviários estrangeiros (no Departamento de Transportes do Texas, Estados Unidos, por exemplo). Neste caso, o levantamento é feito em intervalos pré-determinados ou selecionados. A desvantagem desse procedimento é que a seleção da amostra julgada representativa pode distorcer ou influenciar a informação sobre a condição geral da rede de pavimentos.

Para o levantamento, deve-se selecionar ou definir os tipos de defeitos que serão incluídos. A seleção dos defeitos deve ser feita por um painel de avaliadores conhecedores das condições dos pavimentos da rede em questão. Geralmente surgem muitas dúvidas em relação ao reconhecimento e à forma de medição dos defeitos. Para auxiliar nessa tarefa existem vários manuais, que estabelecem e uniformizam a nomenclatura, as definições, os conceitos e os métodos de levantamento dos defeitos de revestimentos asfálticos.

Para a quantificação da condição dos pavimentos, necessária em todos os níveis de gerência de pavimentos, podem ser utilizados os índices combinados de defeitos, como, por exemplo, o Índice de Condição dos Pavimentos (ICP).

2.4.4.2 - Manuais de identificação de defeitos

DOMINGUES (1993), por exemplo, em seu Manual de Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos (MID), descreve 24 tipos de defeitos, fornecendo informações a respeito dos mecanismos de ocorrência, possíveis localizações, níveis de severidade (fotos), classes (funcional ou estrutural) e métodos de medição.

Em 1987, o SHRP (*Strategic Highway Research Program*) iniciou o maior e mais abrangente programa de avaliação do desempenho de pavimentos – o *Long-Term Pavement Performance* (LTPP). Durante os 20 anos previstos para o desenvolvimento do programa, agências rodoviárias de mais de 20 países, sob a liderança dos Estados Unidos (a dotação inicial do congresso americano para o Programa SHRP foi de 150 milhões de dólares), serão responsáveis pela coleta de dados sobre a condição do pavimento, clima, volumes e solicitações de tráfego em mais de mil seções de testes de pavimentos.

A fim de fornecer uma base consistente e uniforme para a coleta de dados, foi desenvolvido o manual *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project* (SHRP, 1989). Mesmo tendo sido desenvolvido como uma ferramenta para o programa LTPP, o manual possui aplicação muito mais extensa, pois fornece uma linguagem comum para a descrição de trincas, panelas, deformações e outros defeitos existentes em pavimentos flexíveis (concreto asfáltico) e em pavimentos rígidos (concreto de cimento Portland). Cada defeito é classificado, descrito e ilustrado.

Os organismos viários nacionais possuem métodos próprios, quase sempre normatizados, para o levantamento de defeitos no campo, como, por exemplo, o método do DNER (1983). Dentre os defeitos considerados, merecem destaque, por serem mais comumente encontrados em pavimentos urbanos de cidades brasileiras de médio porte, os seguintes:

- trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou por fadiga;
- afundamentos nas trilhas de roda devidos à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento e/ou do subleito;

- desgaste (aspereza) acentuado na superfície do pavimento decorrente de deficiência de ligante e/ou da remoção da fração fina da mistura pelo tráfego, expondo o agregado graúdo;
- panelas (buracos) decorrentes da desagregação do revestimento e, às vezes, da base, consideradas como o último estágio do fenômeno de fadiga;
- corrugação (ondulações transversais) causada por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento e/ou base;
- exsudação do ligante betuminoso no revestimento, isto é, ascensão do ligante à superfície do pavimento decorrente de um balanço inadequado entre a quantidade de ligante e os vazios disponíveis na mistura asfáltica;
- remendos (reconstruções localizadas), considerados falhas por refletirem o mau comportamento da estrutura original, gerando normalmente incremento na irregularidade longitudinal. São executados de três formas:
 - tapa-buraco: atividade de manutenção em que simplesmente aplica-se uma certa quantidade de massa asfáltica sobre uma panela, com o intuito de obturá-la;
 - remendo superficial: correção do revestimento em área localizada, pela aplicação de uma camada asfáltica delgada, como um concreto asfáltico do tipo massa fina, um pré-misturado, uma lama asfáltica ou uma capa selante;
 - remendo profundo: remendo mais bem elaborado, em que ocorre o corte e remoção do revestimento e eventualmente de outras camadas do pavimento e sua substituição por outras camadas equivalentes.

2.4.4.3 - Índices combinados de defeitos

Após a identificação dos defeitos, é necessário definir que combinações de extensão e severidade dos diferentes defeitos indicam que uma seção de pavimento apresenta-se em pior condição que outra. Com esse intuito, são desenvolvidos os índices combinados de defeitos.

Dentre os vários métodos que se propõem a estabelecer um índice de defeitos, são apresentados aqueles mais comumente utilizados e associados aos defeitos de pavimentos asfálticos de vias urbanas. Não são incluídos os índices que consideram a irregularidade longitudinal como fator determinante da condição da superfície do pavimento, como o Índice Internacional de Irregularidade (IRI) e o Quociente de Irregularidade (QI).

Valor da Serventia Atual

A serventia é definida como sendo a capacidade de uma seção de pavimento, à época da observação, de servir com suavidade e conforto de rolamento a quaisquer condições de tráfego. É, portanto, uma medida variável no tempo (Figura 2.4).

Figura 2.4: Conceito de serventia

CAREY & IRICK (1960), em estudos realizados na pista experimental da AASHO³ (atual AASHTO, *American Association of State Highways and Transportation Officials*), propuseram um método de avaliação da condição do pavimento.

Na primeira etapa deste método, grupos de avaliadores, trafegando em seções de vias pavimentadas já existentes, realizavam avaliações subjetivas, conferindo valores em uma escala variável de 0 (para pavimentos cujas condições de rolamento eram muito ruins) a 5 (para pavimentos cujas condições de rolamento eram muito boas).

A média aritmética desses valores foi definida como PSR (*Present Serviceability Rating*). Essa medida foi padronizada pelo DNER (1978) como VSA (Valor de Serventia Atual). O formulário para sua avaliação é apresentado na Figura 2.5.

DADOS	AVALIAÇÃO
Número da Seção:	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> <p>Muito Bom</p> <p>Bom</p> <p>Regular</p> <p>Ruim</p> <p>Muito Ruim</p> </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <p>5</p> <p>4</p> <p>3</p> <p>2</p> <p>1</p> <p>0</p> </div> <div style="font-size: 2em; margin: 0 10px;">}</div> </div>
Avaliador:	
Data:	<p>Qualidade da Seção:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ☐ aceitável ☐ inaceitável </div>

Figura 2.5: Formulário para avaliação do VSA (DNER, 1978)

³ De 1958 a 1960, a AASHO realizou um grande experimento, denominado *AASHO Road Test*, no Estado de Illinois, Estados Unidos, cujos resultados sobre desempenho dos pavimentos, solicitações de tráfego e propriedades dos materiais de pavimentação ainda são muito utilizados.

De acordo com essa norma, as avaliações devem ser realizadas com um veículo de passeio médio, trafegando na velocidade operacional da via. Não deve haver troca de informações entre os avaliadores. Deve-se imaginar uma situação em que o usuário tenha que percorrer, durante oito horas, uma rodovia, que apresenta as mesmas condições da seção em análise, considerando apenas o conforto de rolamento oferecido pela superfície do pavimento.

Calculada a média de cinco avaliações em cada seção, pode-se verificar se o grupo (painel) de avaliadores está apto a realizar esse serviço. Um outro grupo formado por dez a quinze avaliadores previamente treinados percorre e avalia as mesmas seções. Calcula-se a média dessas avaliações em cada seção. Se as médias das avaliações dos dois grupos não diferirem de no máximo 0,3 as avaliações são consideradas corretas. Além disso, as avaliações dentro de um grupo não podem diferir de mais de 1,5. Caso isso ocorra frequentemente com um mesmo avaliador, este deve ser substituído.

Índice de Serventia Atual

Devido às dificuldades e ao custo elevado decorrentes da utilização sistemática dos grupos de avaliação, CAREY & IRICK (1960), em uma etapa seguinte dos experimentos da AASHO, desenvolveram uma relação entre o PSR (avaliação subjetiva) e os valores objetivos indicadores da condição da superfície dos pavimentos asfálticos. Nesta relação, definiu-se o PSI (*Present Serviceability Index*). Esse índice foi padronizado pelo DNER (1978) como ISA (Índice de Serventia Atual) e pode ser calculado pela Equação 2.1 (Equação original da AASHO).

$$ISA = 5,03 - 1,91 \times \log(1 + SV) - 1,38 \times (RD)^2 - 0,01 \times (C + P)^{1/2} \quad (2.1)$$

Na Equação 2.1 as variáveis SV (*slope variance*), RD (*ruth depth*), C (*cracking*), e P (*patching*) são, respectivamente, o valor da irregularidade longitudinal, avaliada através do perfilômetro da AASHO, a média das flechas tomadas nas trilhas de roda sob corda de 1,20m, a área relativa (por 1000 pés quadrados) de trincas de classes 2 e 3 e a área relativa (por 1000 pés quadrados) de remendos na superfície do pavimento.

Índice de Conforto de Rolamento

Desenvolvido pela *Canadian Good Roads Association* (DNER, 1983), o Índice de Conforto de Rolamento (ICR) é avaliado de forma semelhante ao que ocorre com o Valor de Serventia Atual (VSA). Entretanto, a escala para avaliação da condição de rolamento varia de 0 (para pavimentos cujas condições de rolamento são muito ruins) a 10 (para pavimentos cujas condições de rolamento são muito boas).

Índice de Gravidade Global

O Índice de Gravidade Global (IGG) é outro indicador da qualidade de pavimentos muito utilizado pelos engenheiros brasileiros. Para sua obtenção, são fixadas algumas condições (DNER, 1994).

Devem ser implantadas inicialmente estações de ensaio afastadas de 20 metros. No caso de pistas simples, alterna-se a faixa de rolamento e, no caso de pistas duplas, são utilizadas as faixas de tráfego mais solicitadas. Em cada estação, anota-se a ocorrência dos tipos de defeitos. Determina-se, com o auxílio de uma treliça com base de 1,20m e de uma régua no centro de sua base, a flecha nas trilhas de roda externa e interna, expressa em mm.

Para segmentos homogêneos, ou que apresentam defeitos semelhantes, determina-se a frequência absoluta e relativa de ocorrência dos defeitos anotados, bem como a média aritmética e a variância das flechas nas trilhas de roda. Para cada tipo de defeito ou parâmetro estatístico das flechas é atribuído um fator de ponderação, que expressa sua severidade em relação aos demais tipos de defeitos.

Multiplicando a frequência relativa de cada defeito ou a média e variância das flechas pelo seu respectivo fator de ponderação, calcula-se o Índice de Gravidade Individual (IGI). Somando todos os valores do IGI, obtém-se, finalmente, o Índice de Gravidade Global (IGG) a ser atribuído ao segmento homogêneo.

Índice de Condição do Pavimento

O Índice de Condição do Pavimento (ICP) foi desenvolvido na década de setenta pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE - *United States Army Corps of Engineers*) com o intuito de quantificar a condição de pavimentos de estradas militares, ruas e áreas de estacionamento (SHAHIN, 1994).

É um índice numérico que varia de 0 (para pavimentos cujas condições de rolamento são muito ruins) a 100 (para pavimentos cujas condições de rolamento são muito boas), podendo ser avaliado subjetivamente ou calculado a partir de resultados de um levantamento de defeitos no campo, que identifica cada tipo de defeito, severidade e extensão. Para o cálculo do ICP, utiliza-se a Equação 2.2.

$$ICP = 100 - \sum D_i \times S_i \quad (2.2)$$

Na Equação 2.2 as variáveis D_i e S_i são, respectivamente, a extensão da deterioração i e o fator de ponderação, que, por sua vez, é função da severidade da deterioração i .

O Índice de Condição do Pavimento foi desenvolvido para produzir um índice da integridade estrutural do pavimento e da condição operacional da superfície, sendo muito útil para a comparação de seções dentro de uma rede pavimentada urbana, podendo, pois, ser de grande importância para a avaliação de pavimentos urbanos (BALBO, 1997).

CAPÍTULO 3 - MODELOS DE DESEMPENHO

Neste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre modelos de desempenho. São feitas considerações sobre a função desses modelos, descrevendo algumas particularidades e os principais tipos de modelos. São especificados, ao final, os dois processos utilizados para a previsão do desempenho de pavimentos urbanos realizada nesta pesquisa.

3.1 - Considerações iniciais

O problema da gerência de pavimentos consiste na alocação dos limitados recursos para a manutenção e reabilitação no tempo e no espaço. Um modelo de desempenho é um componente essencial dos Sistemas de Gerência de Pavimentos, pois, ao prever a evolução da condição do pavimento, permite não só a estimativa das datas e dos custos das intervenções de manutenção e reabilitação, como também a quantificação dos custos de operação dos veículos ao longo do tempo em função da condição dos pavimentos.

Devido ao grande volume de atividades de manutenção e reabilitação, surgem, muitas vezes, dúvidas com relação ao desempenho de pavimentos submetidos a essas atividades. Na prática, uma vez estabelecida a condição do pavimento existente, o desempenho desse pavimento submetido a atividades de manutenção e reabilitação é igual ao desempenho de um pavimento novo.

Para que um modelo de desempenho auxilie à seleção de estratégias de manutenção e reabilitação, devem ser respeitadas algumas exigências. De acordo com DARTER (1980), as exigências básicas de um modelo de desempenho são:

- uma adequada base de dados (inventário e avaliação da condição dos pavimentos);
- a inclusão de todas as variáveis que afetam a deterioração;
- a seleção cuidadosa do modelo (função) para representar a situação real;
- um critério para avaliar a precisão desse modelo.

Segundo HAAS et al. (1994), a precisão de um modelo de desempenho não é atingida em uma primeira análise. Há, portanto, a necessidade do acompanhamento das variáveis mais significativas por um longo período. Dentre essas variáveis, no caso da gerência de pavimentos urbanos, devem ser monitoradas, principalmente, as atividades de manutenção e reabilitação e as solicitações do tráfego.

3.2 - Classificação

Uma classificação de modelos de desempenho foi proposta por MAHONEY (1990), baseada, principalmente, em trabalho de LYTTON (1987). Distingue a gerência de pavimentos em nível de rede e de projeto e considera dois tipos básicos ou classes de modelos: determinísticos e probabilísticos.

Os modelos determinísticos subdividem-se em modelos de resposta primária, de condição estrutural, de condição funcional e baseados no levantamento de defeitos, enquanto os probabilísticos subdividem-se em modelos de curvas de aceitabilidade e em modelos de processo de transição.

HAAS et al. (1994) classificam os modelos de desempenho em:

- **puramente mecanísticos:** modelos baseados em parâmetros de resposta primária, como tensões, deformações ou deflexões. Esses modelos não vêm sendo desenvolvidos, pois os engenheiros de pavimentos não usam parâmetros de resposta primária ou fundamental para esses fins, mas os relacionam com defeitos ou com propriedades do pavimento;
- **empírico-mecanísticos:** modelos, normalmente utilizados sob a forma de programas computacionais, que simulam as respostas estruturais dos pavimentos (tensões, deformações e deflexões) frente às cargas do tráfego e às solicitações impostas pelo meio ambiente. Relacionam essas respostas estruturais, através de análises de regressão, com medidas de deterioração estrutural ou funcional, tais como defeitos ou irregularidade longitudinal. Um bom exemplo de modelos empírico-mecanísticos é apresentado por QUEIRÓZ (1983), em estudo com 63 seções de testes de pavimentos flexíveis em que relaciona algumas respostas estruturais (tensões horizontais de tração, deformação e energia de deformação na base do revestimento asfáltico, tensão e deformação vertical de compressão no topo do subleito) com as formas de deterioração observadas nas seções;
- **empíricos ou de regressão direta:** modelos que relacionam variáveis dependentes de deterioração funcional ou estrutural com uma ou mais variáveis independentes, tais como suporte do subleito, solicitações do tráfego, espessuras e propriedades das camadas do pavimento etc.

São particularmente aplicáveis quando uma série histórica de dados está disponível, pois independem das respostas estruturais e são formulados a partir da análise estatística de dados de desempenho coletados em pavimentos existentes. Por exemplo, em Alberta, Canadá, KARAN et al. (1983) usaram dados sobre irregularidade longitudinal, deterioração da superfície, tráfego e deflexões, coletados durante 25 anos, para desenvolver modelos de deterioração. JACKSON & MAHONEY (1990) também desenvolveram, para o Estado de Washington, Estados Unidos, um conjunto de modelos de desempenho a partir de análise de regressão de dados armazenados. GOPINATH et al. (1994), em pesquisa realizada com dados brasileiros fornecidos pelo Banco Mundial, também apresentaram vários modelos de desempenho do pavimento. O número estrutural, relacionado com a resistência do pavimento, mostrou-se uma importante variável explicativa que afeta o desempenho dos pavimentos;

- **subjativos:** modelos que formalizam a experiência subjetiva de especialistas e engenheiros locais através de entrevistas (método de Delfos, por exemplo) e da utilização de processos de transição (processo de Markov, por exemplo). No processo de Markov, o estado futuro do elemento do modelo, neste caso o pavimento, é estimado exclusivamente em função de seu estado atual. O estado do elemento é definido por medidas de sua condição, que, para pavimentos, podem ser a irregularidade longitudinal, o Índice de Condição do Pavimento etc. WHITE (1985) registra diversas aplicações práticas do processo de Markov em diferentes áreas do conhecimento, como, por exemplo, economia e engenharia. Muitas agências rodoviárias implementaram modelos de previsão do desempenho de pavimentos baseados nesse processo (HARPER & MAJIDZADEH, 1991 e SCHERER & GLAGOLA, 1994).

Pode-se traçar um paralelo entre as duas classificações, em função dos parâmetros utilizados por cada modelo. Os modelos puramente mecânicos, empírico-mecânicos e empíricos podem ser classificados como modelos determinísticos e os modelos subjetivos como modelos probabilísticos.

Em razão da disponibilidade de uma série histórica de dados sobre a rede pavimentada urbana da cidade de Araraquara-SP, a previsão do desempenho dos pavimentos é feita através de dois processos: modelos empíricos e modelos subjetivos. Portanto, ambos os processos devem ser melhor analisados. No caso dos modelos empíricos, ressalta-se a importância da análise estatística no desenvolvimento de uma pesquisa científica, particularmente na programação dos experimentos realizados nesta pesquisa, e, no caso dos modelos subjetivos, são analisados também os métodos formais de entrevistas.

3.3 - Modelos empíricos

Segundo BOX et al. (1978), a pesquisa científica é um processo orientado e o objetivo dos métodos estatísticos é melhorar a eficiência deste processo. O aprendizado avança através de iterações, como ilustrado na Figura 3.1.

Uma hipótese inicial conduz, através do processo de dedução, à previsão de determinadas consequências que podem ser comparadas com os dados existentes. Quando isso não ocorre, isto é, quando as consequências previstas e os dados coletados não correspondem, as discrepâncias entre eles podem conduzir, através do processo de indução, à modificação da hipótese inicial. Um segundo ciclo de iteração é então iniciado. As consequências das hipóteses modificadas são comparadas com os dados coletados, podendo haver novas modificações das hipóteses e ganho contínuo de conhecimento.

Figura 3.1: Processo iterativo de aprendizagem (BOX et al., 1978)

Este processo também pode ser representado pela curva de realimentação da Figura 3.2. As discrepâncias entre os dados e as consequências da hipótese H_1 conduzem à hipótese modificada H_2 , H_2 conduz à H_3 e assim por diante.

Figura 3.2: O processo de aprendizagem - Curva de realimentação (BOX et al., 1978)

Nesta pesquisa, os dados coletados são utilizados para formular modelos para a previsão do desempenho dos pavimentos urbanos através de um processo estatístico, em que é realizada uma série de experimentos. Seus resultados podem ser comparados com as consequências previstas pelos especialistas, contribuindo para o processo de aprendizagem dos pavimentos urbanos.

Segundo SILVA (1998), experimento é o tipo de pesquisa em que o investigador controla a ocorrência das variáveis independentes (causa-fator) para observar seus efeitos sobre as variáveis consideradas dependentes (efeito-resposta). Um experimento bem planejado é capaz de quantificar a influência de cada uma das variáveis de entrada e de suas interações sobre as respostas do sistema, com um número de ensaios não superior ao necessário e suficiente. Busca-se, nesta pesquisa, funções que melhor representem o desempenho dos pavimentos urbanos de cidades brasileiras de médio porte. Estuda-se, como exemplo, a rede pavimentada urbana da cidade de Araraquara-SP. As variáveis independentes são aquelas que causam a deterioração dos pavimentos e a variável dependente é o próprio desempenho dos pavimentos, quantificado pela variação do Índice de Condição do Pavimento (ICP) ao longo do tempo.

De acordo com McLEAN & ANDERSON (1984), o objetivo do planejamento dos experimentos é arranjar as células em que serão efetuadas as análises de interesse, de forma que sejam obtidas estimativas dos efeitos dos fatores com a menor variância possível. ACHCAR (1995) reforça essa idéia ao afirmar que o planejamento de experimentos é um modo eficiente de eliminar várias fontes de variabilidade, identificar essas fontes e assegurar que o experimento forneça informação precisa sobre as respostas de interesses. O projeto de experimentos força um estudo mais detalhado dos fatores envolvidos e respectivos níveis de interesse. Esse estudo aumenta o entendimento do problema e facilita a realização das observações e a análise final.

Nesse contexto, insere-se a programação fatorial. Para se desenvolver uma programação fatorial, é selecionado um número fixo de níveis (ou versões) para cada uma das variáveis (fatores) e, então, são executados os experimentos com todas as combinações possíveis. Se há l_1 níveis para a primeira variável, l_2 para a segunda e l_k para a k ésima, o arranjo completo dos experimentos é $l_1 \times l_2 \times \dots \times l_k$ (BOX et al., 1978).

3.4 - Modelos subjetivos

Nos modelos subjetivos ou estocásticos a experiência de engenheiros e técnicos é formalizada através de processos de transição, como, por exemplo, o processo de Markov, mediante utilização de matrizes de probabilidades de transição. Geralmente, as prefeituras não possuem um banco de dados com informações históricas suficientes para permitir a determinação direta das matrizes. Neste caso, as matrizes podem ser estimadas através de métodos formais de entrevistas. São descritos, portanto, o processo de Markov e os métodos formais de entrevistas, particularmente o método de Delfos.

3.4.1 - Processo de Markov

O processo de Markov é um processo estocástico que satisfaz a seguinte propriedade: *“o futuro do processo só depende da sua condição presente”*. Em outras palavras, a probabilidade de qualquer evento futuro, dado qualquer evento passado e o estado atual, é independente do evento passado e dependente apenas do estado atual do processo. As informações passadas do processo não são desconsideradas, mas são representadas nas condições do presente. A probabilidade do processo passar de um estado para outro é chamada probabilidade de transição.

Em 1980, o Departamento de Transportes do Arizona, Estados Unidos, utilizou o processo de Markov para a previsão de desempenho dos pavimentos, sendo a primeira implementação com sucesso de modelos matemáticos, baseados em técnicas de previsão estocásticas, em gerência de pavimentos (WANG et al., 1994).

O primeiro Sistema de Gerência de Pavimentos da Hungria também baseia-se nas matrizes de probabilidades de transição do processo de Markov (GÁSPÁR JR., 1994). Utiliza um índice combinado da condição do pavimento, levando em consideração a capacidade de suporte, a irregularidade longitudinal e a qualidade do revestimento asfáltico. As variáveis da matriz são: o tipo de pavimento, o volume de tráfego e as atividades de intervenção.

O sistema da Hungria pode ser usado para calcular os recursos necessários para as rodovias em vários estados de condição, para fazer a distribuição regional dos recursos necessários com um custo mínimo para a economia nacional e para determinar as consequências econômicas e técnicas das subsequentes modificações na distribuição dos recursos.

O processo de Markov foi descrito em detalhes por BUTT (1991). Neste processo, uma escala de medidas da condição do pavimento é dividida em intervalos discretos chamados estados de condição. A princípio, o intuito era obter um modelo simples. Assim, o número de estados de condição era oito e somente uma transição era permitida durante o ciclo de solicitação. Um ciclo de solicitação pode ser definido como o período de um ano em que o pavimento sofre as solicitações do tráfego e os efeitos climáticos.

Atualmente, também é feita a determinação das probabilidades de transição associadas ao pavimento em um dado estado de condição, ou seja, se o pavimento permanece naquele estado ou deteriora para o próximo estado depois de um ciclo de solicitação. No entanto, são considerados dez estados de condição ao invés de oito. Por exemplo, o Índice de Condição do Pavimento (ICP), que varia de 0 a 100, pode ser dividido em 10 estados de condição iguais. Qualquer outra medida (ou índice) de condição pode ser usada neste processo.

Um vetor estado indica a probabilidade de uma seção de pavimento estar em cada um dos estados em um dado ciclo de solicitação, como ilustrado na Figura 3.3. Na idade 0 (ciclo de solicitação 0), o vetor estado é (1,0,0,0,0,0,0,0,0,0), o que significa que há uma probabilidade igual a 1 de a seção do pavimento estar no estado 1 no ciclo de solicitação 0.

O processo requer o desenvolvimento de uma matriz de probabilidades de transição para prever o modo com que o pavimento deteriora com o tempo. Se for admitida a hipótese de que a condição do pavimento não se altera mais do que um estado de um ciclo de solicitação para outro sucessivo, a matriz de probabilidades de transição pode ser escrita como na Equação 3.1.

Figura 3.3: Representação esquemática de estado, vetor estado e ciclo de solicitação (BUTT, 1991)

Todas as seções vistoriadas são classificadas dentro de um dos 10 estados de condição. Para modelar a deterioração do pavimento ao longo do tempo é necessário estabelecer a matriz de probabilidades de transição, que tem a forma da Equação 3.1.

$$P = \begin{bmatrix} p(1) & q(1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p(2) & q(2) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p(3) & q(3) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p(4) & q(4) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p(5) & q(5) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p(6) & q(6) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p(7) & q(7) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p(8) & q(8) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p(9) & q(9) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Na Equação 3.1, $p(j)$ é a probabilidade do pavimento permanecer no estado j durante um ciclo de solicitação e $q(j) = 1 - p(j)$ é a probabilidade do pavimento passar para o próximo estado $(j+1)$ durante um ciclo de solicitação.

O vetor estado para qualquer ciclo de solicitação t é obtido pela multiplicação do vetor estado inicial $\tilde{p}(0)$ pela matriz de transição P elevada à potência t , como na Equação 3.2. Com esse procedimento, se a matriz de probabilidades de transição puder ser estimada, o estado futuro do pavimento em qualquer ciclo de solicitação t poderá ser previsto.

$$\begin{aligned} \tilde{p}(1) &= \tilde{p}(0) \times P \\ \tilde{p}(2) &= \tilde{p}(1) \times P = \tilde{p}(0) \times P^2 \\ &\vdots \\ \tilde{p}(t) &= \tilde{p}(t-1) \times P = \tilde{p}(0) \times P^t \end{aligned} \quad (3.2)$$

WANG & ZANIEWSKI (1993) apontam como vantagens desse processo a possibilidade de calibração local direta e o desenvolvimento de curvas de desempenho sem base de dados históricos. Posteriormente, quando esses dados estiverem disponíveis, poderá ser feita a calibração dos modelos com os dados de campo. As desvantagens dos modelos subjetivos incluem a necessidade de desenvolvimento de matrizes de probabilidades de transição para cada combinação de fatores que afetam o desempenho do pavimento.

3.4.2 - Métodos formais de entrevistas

As matrizes de probabilidades de transição podem ser determinadas diretamente a partir de dados de desempenho de um grande número de seções de pavimentos, submetidas a diferentes atividades de manutenção e reabilitação por um longo período. Como a maioria das prefeituras não possui esses dados, são necessários os métodos formais de entrevistas para estimar as matrizes de probabilidades de transição e, conseqüentemente, prever o modo com que o pavimento deteriora com o tempo.

No entanto, de acordo com FERNANDO (1982), existem sérias dificuldades inerentes aos métodos tradicionais de entrevistas. Algumas vezes, a condição social de um indivíduo pode fazer com que suas opiniões sobre um assunto que não conhece profundamente sejam mais valorizadas do que deveriam. Há casos em que, após expressarem suas opiniões, algumas pessoas sentem-se constrangidas em voltar atrás e aceitar a opinião de outros membros do grupo. Podem ocorrer, também, situações em que as pessoas assumem uma posição de consenso, para evitar discussões e não comprometer a união do grupo.

3.4.3 - Método de Delfos

O método de Delfos é utilizado em casos em que o problema a ser abordado é complexo e que seja desejável o consenso entre um grupo de especialistas através de ciclos de questionamentos com troca de opinião controlada. O processo é constituído por três etapas essenciais: o painel, os questionários e as iterações. No painel é apresentado o problema a ser posto em discussão e determinado quem serão os participantes. Os questionários representam a materialização desses problemas. As iterações consistem no número de operações para se chegar ao consenso. Sucessivas iterações são feitas.

Esse método foi usado nos Estados Unidos para o desenvolvimento de uma base de dados para o Estado do Texas e para desenvolver uma base de dados para avaliar a condição da superfície das rodovias no Estado de Maine, através do estabelecimento de fatores de ponderação para vários níveis de severidade de defeitos (FERNANDO, 1982).

Segundo SAITO & SINHA (1991), o método de Delfos apresenta três características que o distinguem dos métodos tradicionais:

- anonimato: os membros do grupo não se confrontam diretamente durante a sequência do processo, pois a interação entre os membros é feita através do uso de questionários. O anonimato do processo garante que uma idéia possa ser considerada em seus méritos, independentemente do respeito que é dado ao proponente pelos outros membros do grupo;
- interação com respostas controladas: permite extrair dos questionários utilizados várias medidas e apresentá-las para discussão;
- análise estatística das respostas: permite quantificar a variação entre as opiniões.

Além disso, a utilização desse método minimiza erros inerentes aos avaliadores, que hesitam em fazer avaliações muito altas ou muito baixas (erro de leniência), ou em fazer avaliações nos extremos (erro de tendência central).

Assim, o método de Delfos é utilizado nesta pesquisa para a avaliação da condição atual dos pavimentos e para a estimativa das matrizes de probabilidades de transição, através de previsões feitas por especialistas sobre a evolução da deterioração dos pavimentos a partir de um determinado estado atual e por um dado período de tempo.

CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são desenvolvidos modelos de desempenho da rede pavimentada urbana de uma cidade brasileira de médio porte. Adota-se, como exemplo, a cidade de Araraquara-SP. São utilizados dois processos: modelos empíricos e modelos subjetivos.

4.1 - Introdução

Araraquara é uma cidade de médio porte localizada no interior do Estado de São Paulo (Figura 4.1), que apresenta uma população de cerca de 170 mil habitantes (IBGE, 1999) e, de acordo com a Prefeitura da cidade, uma rede pavimentada urbana de aproximadamente seis milhões de metros quadrados.

Figura 4.1: Mapa para localização de Araraquara no Estado de São Paulo

4.2 - Implementação da gerência de pavimentos urbanos

O primeiro passo para o desenvolvimento dos modelos de desempenho é a identificação e definição da rede. Neste caso, realiza-se uma programação fatorial para a seleção de seções da rede pavimentada urbana. Parte-se, então, para a composição do inventário e para a avaliação da condição atual. Finalmente, retomando a matriz da programação fatorial, são desenvolvidos modelos empíricos, que mostram o que efetivamente ocorreu com os pavimentos; e modelos subjetivos (estocásticos), que estimam o comportamento dos pavimentos além do último dado disponível.

4.2.1 - Identificação dos ramos

Os ramos da rede são identificados pelos próprios nomes existentes no sistema usado pela Prefeitura de Araraquara, que cuida do mapeamento das vias. Para a identificação das seções, é necessária a coleta de dados do inventário com informações sobre a estrutura dos pavimentos, histórico de construção e manutenção, classificação funcional das vias e tráfego.

4.2.2 - Identificação das seções

A Prefeitura de Araraquara possui informações sobre a rede pavimentada em arquivos alimentados ao longo do tempo pelos engenheiros e técnicos responsáveis pelas obras de pavimentação urbana (Departamento de Obras - Divisão de Pavimentação) da cidade. Tais informações são essenciais para a identificação das seções de pavimento.

Como existem dados sobre a estrutura dos pavimentos, não são necessárias sondagens. Segundo esses dados, são empregados, basicamente, dois tipos de estrutura para a execução dos pavimentos. Cada tipo é definido em função da classificação funcional da via. Essas informações podem ser vistas nas Tabelas 4.1 e 4.2 e Figuras 4.2 e 4.3.

Tabela 4.1: Estrutura de pavimento utilizada em vias arteriais de Araraquara-SP

Camadas	Especificação	Espessura
1	Camada de rolamento de concreto asfáltico usinado a quente	4 cm
2	Imprimadura impermeabilizante e ligante	1 l/m ²
3	Base de macadame hidráulico	15 cm
4	Preparo e melhoria do subleito (mínimo 95% do Proctor Simples)	-

Figura 4.2: Representação esquemática da estrutura de pavimento utilizada em vias arteriais de Araraquara-SP

Para o tipo de estrutura da Figura 4.2, a atividade de reabilitação executada pela Prefeitura é o recapeamento com concreto betuminoso usinado a quente. Relacionado a questões estruturais, o recapeamento também é muito utilizado para solucionar problemas funcionais nas zonas centrais de cidades (FERNANDES JR. et al., 1999).

Tabela 4.2: Estrutura de pavimento utilizada em vias coletoras e locais de Araraquara-SP

Camadas	Especificação	Espessura
1	Base de macadame betuminoso com capa selante	10 cm
2	Preparo e melhoria do subleito (mínimo 95% do Proctor Simples)	-

Figura 4.3: Representação esquemática da estrutura de pavimento utilizada em vias coletoras e locais de Araraquara-SP

Para o tipo de estrutura da Figura 4.3, são executados o recapeamento com concreto betuminoso usinado a quente em vias coletoras e a reciclagem do pavimento em vias locais.

Diferentemente do recapeamento, a reciclagem é uma atividade de reabilitação que utiliza o material existente (base e capa selante) em outra função, ou seja, ocorre a remoção e simultânea trituração da base e da capa selante, para reutilização na forma de agregados (FERNANDES JR. et al., 1999).

Seções de pavimento revestidas com blocos sextavados de concreto e paralelepípedos não são consideradas nesta pesquisa, pois representam uma pequena parcela da rede pavimentada urbana da cidade. Um outro tipo de estrutura, construído através de tratamento superficial duplo sobre uma base de solo arenoso fino laterítico, também não é considerado, pois vem sendo utilizado há muito pouco tempo e em apenas alguns pontos isolados da rede.

Em relação ao ano de construção dos pavimentos, a Prefeitura de Araraquara também possui mapas atualizados sobre a rede viária e banco de dados com registros históricos de construção das vias.

Para a classificação funcional das vias, a Prefeitura considera três tipos: arteriais, coletoras e locais. As vias arteriais são aquelas que distribuem o tráfego que chega à cidade pelas rodovias. As vias coletoras penetram ainda mais nas zonas residenciais e fazem parte das linhas de trajeto de ônibus urbanos. As vias locais permitem o acesso a locais de trabalho e moradia.

Mesmo sem coleta de dados sobre o tráfego, o número de solicitações equivalentes do eixo padrão⁴ para um período de 12 anos (N_t , típico) é estimado pela relação apresentada na Tabela 4.3, largamente utilizada pela Prefeitura de Araraquara.

⁴ A solicitação padrão consiste de um eixo simples com rodas duplas, com carga por eixo de 80 kN e pressão de enchimento dos pneus de 563 kPa (80 psi), uniformemente distribuída sobre uma superfície de carregamento circular.

Tabela 4.3: Relação entre classificação funcional e tráfego (Araraquara-SP)

Classificação funcional	% da malha pavimentada	Tipo de tráfego	N_t típico
arterial	11,5	pesado	10^6
coletora	14,7	médio	10^5
local	73,8	leve	10^4

4.2.3 - Inventário

Além de auxiliar na identificação das seções da rede, esses dados possibilitam o planejamento de experimentos e, conseqüentemente, a seleção das seções (amostra) para análise do desempenho da rede (população) de Araraquara.

O planejamento é realizado através de uma programação fatorial (Tabela 4.4), que leva em consideração os fatores anteriormente discutidos, considerados os mais importantes para o desempenho de pavimentos urbanos. A partir da composição da matriz da programação fatorial, pode-se selecionar as seções e, então, coletar os dados para o inventário de cada uma.

4.2.4 - Programação fatorial

Observando os dados, percebe-se que há uma relação direta entre o tráfego e a classificação funcional das vias e que a estrutura dos pavimentos é definida em função da classificação funcional. Seria, pois, incoerente considerar os três fatores em uma mesma programação, além de ser inviável arranjar todas as combinações possíveis.

Assim, os fatores que afetam o desempenho dos pavimentos de Araraquara e os respectivos níveis são:

- **ano de construção:** a (entre 1955 e 1969), b (entre 1970 e 1984) e c (a partir de 1985);
- **classificação funcional:** A (via arterial), C (via coletora) e L (via local);
- **atividades de manutenção e reabilitação:** s (ocorrência de atividades de manutenção e reabilitação) e n (não ocorrência).

A variável quantitativa ano de construção é dividida em três níveis igualmente espaçados, considerando que as informações a respeito dessa variável têm como limites inferior e superior, respectivamente, 1955 e 1999.

Em relação à variável qualitativa classificação funcional, são adotados os mesmos níveis considerados pela Prefeitura de Araraquara.

Para a variável qualitativa atividades de manutenção e reabilitação, são analisadas somente as atividades executadas pela Prefeitura de Araraquara. Além daquelas comentadas anteriormente, considera-se também o remendo profundo, que é uma atividade de manutenção em que ocorre o corte e remoção do revestimento e eventualmente de outras camadas do pavimento e sua substituição por outras camadas equivalentes.

Atividades de manutenção de rotina e/ou manutenção periódica realizadas pela Prefeitura não são consideradas nesta pesquisa, pois são atividades que visam garantir a segurança do tráfego e manter o período de projeto do pavimento, sem prolongar sua vida em serviço e sem alterar bruscamente a curva de desempenho, que é o objetivo do estudo.

Dentre essas atividades, as mais comumente executadas são os tapa-buracos e os remendos superficiais. O tapa-buraco é uma atividade de manutenção em que simplesmente aplica-se uma certa quantidade de massa asfáltica sobre uma panela, com o intuito de obturá-la. O remendo superficial é uma correção do revestimento em área localizada, pela aplicação de uma camada asfáltica delgada, como um concreto asfáltico do tipo massa fina, um pré-misturado, uma lama asfáltica ou uma capa selante.

Tabela 4.4: Matriz da programação fatorial e resultados da avaliação da condição atual dos pavimentos de Araraquara-SP

Combinação	Ano de construção	Classificação funcional	Atividades de M&R	ICP
1	a	A	s	75
2	a	C	s	80
3	a	L	s	80
4	b	A	s	80
5	b	C	s	85
6	b	L	s	90
7	c	A	s	85
8	c	C	s	90
9	c	L	s	90
10	a	A	n	70
11	a	C	n	75
12	a	L	n	75
13	b	A	n	80
14	b	C	n	85
15	b	L	n	85
16	c	A	n	80
17	c	C	n	85
18	c	L	n	85

O valor numérico (resposta) utilizado para quantificar os efeitos dos fatores é o Índice de Condição do Pavimento (ICP). O método para a avaliação desse valor foi descrito no Capítulo 3 e é retomado à frente, quando é tratado o levantamento de campo das seções de Araraquara.

As seções de pavimento que apresentam as características de cada combinação da matriz fatorial são mostradas na Tabela 4.5. As seções são identificadas pelo nome do ramo e a referência (marco de início e fim da seção).

Tabela 4.5: Seções selecionadas na rede pavimentada urbana de Araraquara-SP

Combinação	Ramo	Referência
1	r. Antônio Prado	entre Av. D. Pedro II e Av. Brasil
2	Av. Espanha	entre r. Pedro Álvares Cabral e r. Humaitá
3	r. Pará	entre Av. Paraíba e Av. Pernambuco
4	Av. Maria A. C. de Oliveira	entre Av. Pe. Oscar C. Azeredo e Av. Mauá
5	Av. José Bonifácio	entre r. Voluntários da Pátria e r. Pe. Duarte
6	r. Ceará	entre Av. Antônio L. Corrêa e Av. Daniel C. Mesquita
7	Av. Francisco Vaz Filho	entre r. Amazonas e r. Pará
8	Av. São João	entre r. Trajano Gomes da Silva e r. José Monteiro
9	Av. Carlos Olympio Tostes	entre r. Papa João XXIII e r. Raul de Oliveira Bueno
10	Av. Pe. Francisco Colturato	entre r. Tupi e r. São Bento
11	Av. Espanha	entre r. Humaitá e r. Expedicionários do Brasil
12	r. dos Jasmins	entre r. Carvalho Filho e Av. Dr. Gastão Vidigal
13	Av. Maria A. C. de Oliveira	entre Av. Djalma Dutra e Av. Mário Y. de Almeida
14	Av. José Bonifácio	entre r. São Bento e r. 9 de Julho
15	Av. Paraíba	entre r. dos Estados e r. Piauí
16	r. José Palamone Lepre	100m (sentido Centro) a partir da Av. Antônio H. Real
17	Av. Antônio Honório Real	entre r. Waldomiro Zamariolli e r. Heitor N. Campos
18	Av. Remo Frontarolli	entre r. Eng. José C. Blundi e r. Synésio Wyss Barreto

Definidas as seções da rede ou, em outras palavras, definida a amostra da população, pode-se coletar os demais dados necessários para a composição do inventário das seções.

O formulário utilizado para a identificação das seções de pavimento de Araraquara, definidas pela programação fatorial, pode ser visto na Figura 4.4. A identificação de todas as seções pode ser vista no Anexo A.

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO
<i>Número da seção:</i>
<i>Ramo:</i>
<i>Marco de início:</i>
<i>Marco de fim:</i>
<i>Tipo de pavimento:</i>
<i>Comprimento:</i>
<i>Largura:</i>
<i>Número de faixas:</i>

Figura 4.4: Formulário para identificação de seções pavimentadas

4.2.5 - Avaliação da condição dos pavimentos

O próximo passo para a análise do desempenho de pavimentos urbanos é a avaliação da condição dos pavimentos, que, nesta pesquisa, segue algumas regras. A condição do pavimento é definida pelo Índice de Condição do Pavimento (ICP), estimado subjetivamente.

Um grupo de avaliadores, trafegando em um veículo de passeio médio, com uma velocidade constante (20 a 30 Km/h), realiza avaliações subjetivas, conferindo valores em uma escala variável de 0 (para pavimentos cujas condições de rolamento são muito ruins) a 100 (para pavimentos cujas condições de rolamento são muito boas). A ordem de avaliação das seções é aleatória (definida anteriormente). Imagina-se uma situação em que o usuário tenha que percorrer, durante oito horas, uma rodovia, que apresenta as mesmas condições da seção em análise. O formulário utilizado para esta avaliação é apresentado na Figura 4.5.

DADOS	AVALIAÇÃO
Número da Seção:	Condição Atual:
	----- 100
	Muito Bom 90
Avaliador:	----- 80
	Bom 70
	----- 60
Data:	Regular 50
	----- 40
	Ruim 30
	----- 20
Observação:	Muito Ruim 10
	----- 0

Figura 4.5: Formulário para avaliação da condição atual de seções pavimentadas

Para a obtenção do ICP de cada seção, ao invés de calcular a média entre as avaliações, utiliza-se o método de entrevistas de Delfos. Nesta pesquisa, este método é utilizado tanto para a estimativa da condição atual quanto para a previsão do desempenho das seções de pavimento.

Consiste na obtenção de consenso entre um grupo de especialistas através de respostas escritas, em que é utilizada uma série de questionários (formulários) com troca de opinião controlada, garantindo o anonimato dos avaliadores e melhorando a eficiência das discussões. Assim, ao final de cada uma das 18 seções selecionadas anteriormente, ocorrem as discussões.

4.3 - Modelos empíricos

Desenvolve-se, inicialmente, um modelo empírico para avaliação dos efeitos dos fatores sobre o desempenho dos pavimentos de Araraquara. Em seguida, para analisar o comportamento dos pavimentos ao longo do tempo, são desenvolvidos modelos de desempenho empíricos a partir dos resultados da avaliação da condição atual dos pavimentos. Pode-se, assim, comparar com os modelos subjetivos, que também são desenvolvidos para Araraquara.

4.3.1 - Modelo para avaliação dos efeitos dos fatores

Define-se um modelo a ser ajustado para a quantificação da influência dos fatores. Parte-se para a quantificação da influência das variáveis independentes (fatores) sobre a resposta do modelo, obtendo o modelo ajustado.

A resposta desse modelo é o Índice de Condição do Pavimento (ICP) e as variáveis independentes (fatores) são: ano de construção, classificação funcional e atividades de manutenção e reabilitação. Ressalta-se que o tráfego e a estrutura do pavimento estão sendo analisadas indiretamente.

Para ajustar o modelo empírico, estabelece-se a influência dos fatores relacionados à qualidade da superfície de rolamento. Para verificar a influência dos fatores, são calculados os efeitos das variáveis (fatores). O efeito principal de uma variável é dado pela diferença entre as médias das avaliações (ICP) para cada nível de cada variável. O efeito de interação entre as variáveis é dado pela diferença entre o efeito médio de uma variável em relação à outra. Por convenção estatística, é dado pela metade dessa diferença.

Para facilitar os cálculos, as variáveis ano de construção, classificação funcional e atividades de M&R passam a ser identificadas pelas letras gregas α , β e χ , respectivamente. Os cálculos de todos os efeitos dos fatores podem ser vistos no Anexo B. Os resultados dos efeitos e a média das respostas são mostrados no quadro resumo da Tabela 4.6. Nessa tabela os valores mais significativos e, portanto, utilizados no ajuste do modelo desejado são destacados com asteriscos.

Pode-se observar que não há réplicas neste experimento, isto é, seções repetidas para cada combinação de fatores. A fim de minimizar os efeitos de fontes não controladas de variação, estimados através dos desvios-padrões de levantamentos em seções repetidas, as avaliações são realizadas em um mesmo dia e sob as mesmas condições.

Utiliza-se, ainda, estimativas para os desvios-padrões, pois não se pode estimar a variância (σ^2) diretamente dos 18 pontos experimentais (seções). Assumindo todas as interações entre três variáveis desprezíveis, supondo que essas interações medem diferenças devido ao erro experimental, pode-se calcular os erros-padrões para os efeitos estimados. Esse cálculo também é mostrado no Anexo B.

Tabela 4.6: Resumo dos efeitos dos fatores e média das respostas

Efeito	Efeito estimado $\pm$ erro-padrão
Média	81,94 (*)
Principal de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>)	8,33 $\pm$ 0,83 (*)
Principal de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>)	10,00 $\pm$ 0,83 (*)
Principal de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>)	1,67 $\pm$ 0,83
Principal de β (entre <u>A</u> e <u>C</u>)	5,00 $\pm$ 0,83 (*)
Principal de β (entre <u>A</u> e <u>L</u>)	5,83 $\pm$ 0,83 (*)
Principal de β (entre <u>C</u> e <u>L</u>)	0,83 $\pm$ 0,83
Principal de χ	-3,89 $\pm$ 0,83 (*)
Médio de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>) $\times \chi$	1,67 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>) $\times \chi$	0 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>) $\times \chi$	-1,67 $\pm$ 0,83
Médio de β (entre <u>A</u> e <u>C</u>) $\times \chi$	0 $\pm$ 0,83
Médio de β (entre <u>A</u> e <u>L</u>) $\times \chi$	-0,83 $\pm$ 0,83
Médio de β (entre <u>C</u> e <u>L</u>) $\times \chi$	-0,83 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>) $\times \beta$ (entre <u>A</u> e <u>C</u>)	0 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>) $\times \beta$ (entre <u>A</u> e <u>L</u>)	1,25 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>) $\times \beta$ (entre <u>C</u> e <u>L</u>)	1,25 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>) $\times \beta$ (entre <u>A</u> e <u>C</u>)	0 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>) $\times \beta$ (entre <u>A</u> e <u>L</u>)	0 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>) $\times \beta$ (entre <u>C</u> e <u>L</u>)	0 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>) $\times \beta$ (entre <u>A</u> e <u>C</u>)	0 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>) $\times \beta$ (entre <u>A</u> e <u>L</u>)	-1,25 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>) $\times \beta$ (entre <u>C</u> e <u>L</u>)	-1,25 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>) $\times \beta$ (entre <u>A</u> e <u>C</u>) $\times \chi$	0 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>) $\times \beta$ (entre <u>A</u> e <u>L</u>) $\times \chi$	-1,25 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>) $\times \beta$ (entre <u>C</u> e <u>L</u>) $\times \chi$	-1,25 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>) $\times \beta$ (entre <u>A</u> e <u>C</u>) $\times \chi$	0 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>) $\times \beta$ (entre <u>A</u> e <u>L</u>) $\times \chi$	0 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>) $\times \beta$ (entre <u>C</u> e <u>L</u>) $\times \chi$	0 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>) $\times \beta$ (entre <u>A</u> e <u>C</u>) $\times \chi$	0 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>) $\times \beta$ (entre <u>A</u> e <u>L</u>) $\times \chi$	1,25 $\pm$ 0,83
Médio de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>) $\times \beta$ (entre <u>C</u> e <u>L</u>) $\times \chi$	1,25 $\pm$ 0,83

Assim, o modelo empírico desejado pode ser visto na Equação 4.2.

$$I\hat{C}P = 81,94 + \left(\frac{8,33}{2}\right) \times \alpha_{\underline{ab}} + \left(\frac{10,00}{2}\right) \times \alpha_{\underline{ac}} + \left(\frac{5,00}{2}\right) \times \beta_{\underline{AC}} + \left(\frac{5,83}{2}\right) \times \beta_{\underline{AL}} + \left(\frac{-3,89}{2}\right) \times \chi \quad (4.2)$$

Na Equação 4.2, as variáveis $\alpha_{\underline{ab}}$ e $\alpha_{\underline{ac}}$ recebem os seguintes valores:

$\alpha_{\underline{ab}}$:

- +1: quando for uma seção intermediária (construída no período b)
- -1: quando for uma seção antiga (construída no período a)
- 0: quando for uma seção nova (construída no período c)

$\alpha_{\underline{ac}}$:

- +1: quando for uma seção nova (construída no período c)
- -1: quando for uma seção antiga (construída no período a)
- 0: quando for uma seção intermediária (construída no período b)

As variáveis $\beta_{\underline{AC}}$ e $\beta_{\underline{AL}}$ recebem os seguintes valores:

$\beta_{\underline{AC}}$:

- +1: quando for uma seção de via coletora (C)
- -1: quando for uma seção de via arterial (A)
- 0: quando for uma seção de via local (L)

$\beta_{\underline{AL}}$:

- +1: quando for uma seção de via local (L)
- -1: quando for uma seção de via arterial (A)
- 0: quando for uma seção de via coletora (C)

A variável χ recebe os seguintes valores:

- +1: quando for uma seção não submetida a atividades de M&R (n)
- -1: quando for uma seção submetida a atividades de M&R (s).

Os coeficientes do modelo ajustado são iguais à metade dos efeitos estimados anteriormente, pois uma mudança de -1 para $+1$ significa uma mudança de duas unidades. Para verificar a adequabilidade do modelo empírico, são necessárias a análise dos resíduos e a verificação do coeficiente de determinação, desenvolvidas no Capítulo 5.

4.3.2 - Modelos de desempenho

São desenvolvidos modelos exponenciais para representar o desempenho de seções de vias arteriais, coletoras e locais e de seções submetidas e não submetidas a atividades de M&R. A resposta dos modelos é o Índice de Condição do Pavimento (ICP) e a variável independente (fator) é o tempo correspondente a um ciclo de vida do pavimento.

Portanto, os modelos empíricos podem ser definidos como indicado na Equação 4.3, cujas constantes b e m são parâmetros da análise de regressão e a variável T é o tempo (em anos) correspondente a um ciclo de vida do pavimento.

$$\hat{ICP} = b \times m^T \quad (4.3)$$

Para ajustar os modelos, são desenvolvidas análises de regressão a partir dos valores do Índice de Condição do Pavimento (ICP) de cada seção apresentados na Tabela 4.4. Para que a idade do pavimento seja considerada na análise, calcula-se o tempo decorrido a partir do ponto médio de cada nível da variável ano de construção. Como os pontos médios dos níveis a, b e c são, respectivamente, 1962, 1977 e 1992, as idades (tempos) valem cerca de 37, 22 e 7 anos.

Dessa forma, para ajustar o modelo de desempenho de seções de vias arteriais, faz-se uma análise de regressão a partir dos valores conhecidos da variável dependente ICP e dos valores conhecidos da variável independente T apresentados na Tabela 4.7. Para cada seção, além do valor de ICP atual, considera-se também o valor de ICP igual a 100, relativo à condição da seção recém-construída (ano "0").

Tabela 4.7: Dados para o desenvolvimento do modelo de desempenho empírico de seções de vias arteriais

Seção	ICP	Tempo (anos)
1	75	37
4	80	22
7	85	7
10	70	37
13	80	22
16	80	7

Assim, o modelo de desempenho desejado pode ser visto na Equação 4.4, cuja variável T é o tempo (em anos) decorrido desde a construção do pavimento.

$$ICP = 97,15 \times 0,9915^T \quad (4.4)$$

Para ajustar o modelo de desempenho de seções de vias coletoras, faz-se uma análise de regressão a partir dos dados apresentados na Tabela 4.8. Para cada seção, além do valor de ICP atual, considera-se também o valor de ICP igual a 100, relativo à condição da seção recém-construída (ano "0").

Tabela 4.8: Dados para o desenvolvimento do modelo de desempenho empírico de seções de vias coletoras

Seção	ICP	Tempo (anos)
2	80	37
5	85	22
8	90	7
11	75	37
14	85	22
17	85	7

Assim, o modelo de desempenho desejado pode ser visto na Equação 4.5, cuja variável T é o tempo (em anos) decorrido desde a construção do pavimento.

$$ICP = 98,20 \times 0,9933^T \quad (4.5)$$

Para ajustar o modelo de desempenho de seções de vias locais, faz-se uma análise de regressão a partir dos dados apresentados na Tabela 4.9. Para cada seção, além do valor de ICP atual, considera-se também o valor de ICP igual a 100, relativo à condição da seção recém-construída (ano "0").

Tabela 4.9: Dados para o desenvolvimento do modelo de desempenho empírico de seções de vias locais

Seção	ICP	Tempo (anos)
3	80	37
6	90	22
9	90	7
12	75	37
15	85	22
18	85	7

Assim, o modelo de desempenho desejado pode ser visto na Equação 4.6, cuja variável T é o tempo (em anos) decorrido desde a construção do pavimento.

$$\hat{ICP} = 98,38 \times 0,9936^T \quad (4.6)$$

Para ajustar o modelo de desempenho de seções submetidas a atividades de M&R, faz-se uma análise de regressão a partir dos dados apresentados na Tabela 4.10.

Segundo os responsáveis pelas obras de pavimentação urbana de Araraquara, os pavimentos apresentam em média um ciclo de vida de cerca de 15 anos, quando então são submetidos a atividades de M&R. Como não há informações sobre as datas de execução dessas atividades em cada seção, esse valor médio (15 anos) é utilizado somente para o desenvolvimento do modelo de desempenho de seções submetidas a atividades de M&R.

Portanto, neste caso, para cada seção, além do valor de ICP atual, considera-se também o valor de ICP igual a 100, relativo à condição da seção logo após a execução das atividades de M&R ("ano 15"), pois não haveria sentido considerar o valor inicial da variável tempo igual a zero, uma vez que não se trata de seção recém-construída.

Consequentemente, para que o modelo tenha validade, a variável tempo assume valores correspondentes ao tempo decorrido após a execução das atividades de M&R. Da mesma forma, posteriormente, durante a análise do modelo (Capítulo 5), todos os valores relativos à variável tempo serão acrescidos de 15 anos.

Tabela 4.10: Dados para o desenvolvimento do modelo de desempenho empírico de seções submetidas a atividades de M&R

Seção	ICP	Tempo (anos)
1	75	37
2	80	37
3	80	37
4	80	22
5	85	22
6	90	22
7	85	7
8	90	7
9	90	7

Assim, o modelo de desempenho desejado pode ser visto na Equação 4.7, cuja variável T é o tempo (em anos) decorrido desde a execução das atividades de M&R.

$$\hat{ICP} = 98,30 \times 0,9935^T \quad (4.7)$$

Para ajustar o modelo de desempenho de seções não submetidas a atividades de M&R, faz-se uma análise de regressão a partir dos dados apresentados na Tabela 4.11. Para cada seção, além do valor de ICP atual, considera-se também o valor de ICP igual a 100, relativo à condição da seção recém-construída (ano "0").

Tabela 4.11: Dados para o desenvolvimento do modelo de desempenho empírico de seções não submetidas a atividades de M&R

Seção	ICP	Tempo (anos)
10	70	37
11	75	37
12	75	37
13	80	22
14	85	22
15	85	22
16	80	7
17	85	7
18	85	7

Assim, o modelo de desempenho desejado pode ser visto na Equação 4.8, cuja variável T é o tempo (em anos) decorrido desde a construção do pavimento.

$$\hat{ICP} = 97,51 \times 0,9921^T \quad (4.8)$$

Para verificar a adequabilidade dos modelos empíricos e, conseqüentemente, utilizar os modelos ajustados na previsão do desempenho de pavimentos, são necessárias análises dos resíduos e verificação dos coeficientes de determinação, desenvolvidas no Capítulo 5.

4.4 - Modelos subjetivos

Para o desenvolvimento dos modelos subjetivos, utiliza-se o processo de Markov, que se baseia na determinação de vetores estado e na composição de matrizes de probabilidades de transição para cada seção de pavimento.

Para a determinação dos vetores estado de cada seção, a escala de medidas da condição dos pavimentos utilizada é o Índice de Condição do Pavimento (ICP), que varia de 0 a 100 e é dividido em 10 intervalos discretos iguais chamados estados de condição. Os vetores estado possuem, portanto, dez colunas. A primeira coluna indica a probabilidade de uma seção apresentar ICP entre 90 e 100, a segunda indica a probabilidade de uma seção apresentar ICP entre 80 e 90 e assim por diante.

Nesta pesquisa, para analisar a influência de cada fator sobre o desempenho dos pavimentos a partir da data atual, os vetores estado inicial representam a condição atual dos pavimentos, sendo também obtidos durante a avaliação da condição dos pavimentos através do método de Delfos. Assim, por exemplo, o vetor estado inicial da seção 18, que apresenta ICP igual a 85, é dado, de acordo com os especialistas, por $\tilde{p}(0)=(0,1;0,8;0,1;0;0;0;0;0;0;0)$.

As matrizes de probabilidades de transição, necessárias para prever o modo com que o pavimento deteriora com o tempo, são também estimadas segundo a opinião de especialistas através do método de Delfos, pois, apesar de possuir um banco de dados sobre os fatores que afetam o desempenho dos pavimentos, a Prefeitura de Araraquara não possui informações sobre avaliações periódicas da condição dos pavimentos. Portanto, as informações não são suficientes para permitir a determinação direta das matrizes.

Para a composição das matrizes, são admitidas algumas hipóteses. Considera-se que a condição dos pavimentos não se altera mais do que um estado durante um ciclo de solicitação, isto é, de um ano para outro. Além disso, por exemplo, para o preenchimento da primeira linha de cada matriz, admite-se que a seção analisada apresenta ICP entre 90 e 100, para o preenchimento da segunda linha, que a seção apresenta ICP entre 80 e 90 e assim por diante.

Torna-se, pois, necessário preencher somente as duas diagonais centrais das matrizes com os valores correspondentes à probabilidade de uma seção permanecer com um determinado estado durante um ciclo de solicitação (de um ano para outro) e à probabilidade de uma seção passar para o próximo estado durante um ciclo.

Assim, por exemplo, na matriz de probabilidades de transição da seção 18 (Equação 4.9), admitindo a hipótese de que esta seção apresenta ICP entre 90 e 100, o valor 0,7 da primeira linha indica a probabilidade da seção continuar apresentando ICP entre 90 e 100 no próximo ano e 0,3 indica a probabilidade da seção apresentar ICP entre 80 e 90 no próximo ano. Analogamente, admitindo a hipótese de que esta seção apresenta ICP entre 80 e 90, o valor 0,7 da segunda linha indica a probabilidade da seção continuar apresentando ICP entre 80 e 90 no próximo ano e 0,3 indica a probabilidade da seção apresentar ICP entre 70 e 80 no próximo ano. Dessa forma, pode-se preencher toda a matriz de probabilidades de transição.

$$P = \begin{bmatrix} 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

O vetor estado para qualquer ciclo de solicitação t é obtido pela multiplicação do vetor estado inicial $\tilde{p}(0)$ pela matriz de transição P elevada à potência t . Com esse procedimento, o estado futuro do pavimento em qualquer ciclo de solicitação t pode ser previsto.

O formulário utilizado para a determinação dos vetores estado inicial e das matrizes de probabilidades de transição para cada seção de pavimento de Araraquara pode ser visto na Figura 4.7. Os formulários correspondentes a cada seção de pavimento de Araraquara podem ser vistos no Anexo C.

Ano de construção: ____ Classificação funcional: ____ Atividades de M&R: ____	Seção: ____
$\tilde{p}(0) = (_ ; _ ; _ ; _ ; _ ; _ ; _ ; _ ; _ ; _)$ $P = \begin{bmatrix} _ & _ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & _ & _ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & _ & _ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & _ & _ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & _ & _ & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & _ & _ & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & _ & _ & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & _ & _ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & _ & _ \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	

Figura 4.7: Formulário para composição de vetores estado inicial e de matrizes de probabilidades de transição

É importante colocar que o método de Delfos é utilizado nesta pesquisa por apresentar particularidades já discutidas anteriormente, que o distinguem dos métodos tradicionais de entrevistas e por se tratar de um problema complexo, cujo objetivo é o consenso dos especialistas.

CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são analisados os modelos empíricos e subjetivos obtidos a partir da avaliação da condição atual dos pavimentos da rede pavimentada urbana da cidade de Araraquara-SP e das entrevistas com especialistas.

5.1 - Análise dos modelos empíricos

Analisa-se, inicialmente, o modelo empírico ajustado para avaliação dos efeitos dos fatores, interpretando os efeitos e verificando os resíduos e o coeficiente de determinação. Analogamente, analisa-se a adequabilidade de cada modelo de desempenho empírico, verificando também a influência das variáveis classificação funcional e atividades de M&R ao longo da vida em serviço dos pavimentos.

5.1.1 - Análise do modelo ajustado para avaliação dos efeitos dos fatores

De acordo com os resultados dos efeitos dos fatores sobre a condição dos pavimentos (Tabela 4.6), pode-se verificar que, em relação à variável ano de construção, seções antigas (construídas entre 1955 e 1969) apresentam, em geral, ICPs menores que seções intermediárias (construídas entre 1970 e 1984) e novas (construídas a partir de 1985). Essas diferenças são significativas e valem, respectivamente, cerca de 8 e 10 unidades. A diferença entre os ICPs de seções intermediárias e novas não é significativa.

Em relação à variável classificação funcional, seções de vias arteriais apresentam, em geral, ICPs menores que seções de vias coletoras e locais. Essas diferenças são significativas e valem, respectivamente, cerca de 5 e 6 unidades. A diferença entre os ICPs de seções de vias coletoras e locais não é significativa.

Em relação à variável atividades de M&R, seções não submetidas a atividades de M&R apresentam, em geral, ICPs menores que seções submetidas a atividades de M&R. Essa diferença é significativa e vale aproximadamente 4 unidades.

Para a análise dos resíduos, são calculados os valores de previsão ($\hat{ICP}$) e, conseqüentemente, os resíduos ($ICP - \hat{ICP}$) para as 18 seções selecionadas. Esses valores podem ser vistos na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Valores de previsão e resíduos
(Modelo empírico ajustado para avaliação dos efeitos dos fatores)

Seção	ICP	Previsão	Resíduo	Seção	ICP	Previsão	Resíduo
1	75	69,31	5,69	10	70	65,42	4,58
2	80	77,22	2,78	11	75	73,33	1,67
3	80	77,64	2,36	12	75	73,75	1,25
4	80	82,64	-2,64	13	80	78,75	1,25
5	85	90,55	-5,55	14	85	86,66	-1,66
6	90	90,97	-0,97	15	85	87,08	-2,08
7	85	83,47	1,53	16	80	79,58	0,42
8	90	91,39	-1,39	17	85	87,50	-2,50
9	90	91,80	-1,80	18	85	87,91	-2,91

Assim, pode-se plotar os gráficos das Figuras 5.1 e 5.2.

Figura 5.1: Gráfico de resíduos do modelo empírico ajustado para avaliação dos efeitos dos fatores

Figura 5.2: Gráfico de resíduos *versus* valores de previsão (Modelo empírico ajustado para avaliação dos efeitos dos fatores)

O coeficiente de determinação (R^2) mede a proporção da variabilidade total explicada pelo modelo ajustado (um número entre 0 e 1). Tem-se um bom ajuste se $R^2 \approx 1$ e péssimo ajuste se $R^2 \approx 0$. O coeficiente de determinação do modelo empírico da Equação 4.2 pode ser calculado através da Equação 5.1. Substituindo os valores, encontra-se $R^2 = 0,75$.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (ICP_i - \hat{ICP}_i)^2}{\sum (ICP_i - \bar{ICP})^2} \quad (5.1)$$

Analisando o valor do coeficiente de determinação e os gráficos das Figuras 5.1 e 5.2, em que se observa a distribuição aleatória dos resíduos em torno de zero, indicando variância constante para todos os valores da resposta, verifica-se que o modelo da Equação 4.2 pode ser utilizado como auxílio à seleção de estratégias de manutenção e reabilitação dos pavimentos de Araraquara.

5.1.2 - Análise dos modelos de desempenho

A partir do modelo empírico da Equação 4.4, pode-se obter o gráfico da Figura 5.3, que ilustra a curva de desempenho de seções de vias arteriais. Neste gráfico também são plotados os valores reais de ICP, correspondentes aos resultados da avaliação da condição atual dos pavimentos das seções de vias arteriais selecionadas. O coeficiente de determinação pode ser calculado através da Equação 5.1. Substituindo os valores, encontra-se $R^2 = 0,84$.

Figura 5.3: Gráfico para análise do modelo de desempenho empírico de seções de vias arteriais

Analisando o valor do coeficiente de determinação e o gráfico da Figura 5.3, verifica-se que o modelo da Equação 4.4 pode ser utilizado para a previsão do desempenho dos pavimentos de seções de vias arteriais de Araraquara. Deve-se considerar, porém, ao analisar o desempenho dos pavimentos nos primeiros anos de vida em serviço, uma diferença significativa entre os valores reais e os valores de previsão.

Para a análise dos resíduos, são calculados os valores de previsão ($\hat{ICP}$) e, conseqüentemente, os resíduos ($ICP - \hat{ICP}$) para as seis seções utilizadas na análise de regressão. Além de apresentar esses valores, a Tabela 5.2 mostra os valores da variável tempo, também necessários para a análise de resíduos.

Tabela 5.2: Valores da variável tempo, valores de previsão e resíduos
(Modelo de desempenho empírico de seções de vias arteriais)

Seção	Tempo (anos)	Previsão	Resíduo
1	37	70,84	4,16
4	22	80,52	-0,52
7	7	91,51	-6,51
10	37	70,84	-0,84
13	22	80,52	-0,52
16	7	91,51	-11,51

Para cada seção, além do valor de ICP atual, considera-se também o valor de ICP igual a 100, relativo à condição da seção recém-construída (ano "0"). Portanto, devem ser considerados mais seis valores de previsão iguais a 97,15 e mais seis resíduos iguais a 2,85. Assim, pode-se plotar os gráficos das Figuras 5.4 e 5.5.

Figura 5.4: Gráfico de resíduos *versus* valores de previsão
(Modelo de desempenho empírico de seções de vias arteriais)

Figura 5.5: Gráfico de resíduos *versus* valores da variável tempo
(Modelo de desempenho empírico de seções de vias arteriais)

Os gráficos das Figuras 5.4 e 5.5 complementam a verificação da adequabilidade do modelo exponencial, na medida em que não se observa claramente uma forma curvilínea na distribuição dos resíduos. Observa-se uma distribuição aleatória em torno de zero, indicando, porém, maior variância nos primeiros anos de vida em serviço dos pavimentos.

A partir do modelo empírico da Equação 4.5, pode-se obter o gráfico da Figura 5.6, que ilustra a curva de desempenho de seções de vias coletoras. Neste gráfico também são plotados os valores reais de ICP, correspondentes aos resultados da avaliação da condição atual dos pavimentos das seções de vias coletoras selecionadas. O coeficiente de determinação pode ser calculado através da Equação 5.1. Substituindo os valores, encontra-se $R^2 = 0,87$.

Figura 5.6: Gráfico para análise do modelo de desempenho empírico de seções de vias coletoras

Analisando o valor do coeficiente de determinação e o gráfico da Figura 5.6, verifica-se que o modelo da Equação 4.5 pode ser utilizado para a previsão do desempenho dos pavimentos de seções de vias coletoras de Araraquara. Deve-se considerar, porém, ao analisar o desempenho dos pavimentos nos primeiros anos de vida em serviço, uma pequena diferença entre os valores reais e os valores de previsão.

Para a análise dos resíduos, são calculados os valores de previsão ($\hat{ICP}$) e, conseqüentemente, os resíduos ($ICP - \hat{ICP}$) para as seis seções utilizadas na análise de regressão. Além de apresentar esses valores, a Tabela 5.3 mostra os valores da variável tempo, também necessários para a análise de resíduos.

Tabela 5.3: Valores da variável tempo, valores de previsão e resíduos
(Modelo de desempenho empírico de seções de vias coletoras)

Seção	Tempo (anos)	Previsão	Resíduo
2	37	76,58	3,42
5	22	84,70	0,30
8	7	93,69	-3,69
11	37	76,58	-1,58
14	22	84,70	0,30
17	7	93,69	-8,69

Para cada seção, além do valor de ICP atual, considera-se também o valor de ICP igual a 100, relativo à condição da seção recém-construída (ano "0"). Portanto, devem ser considerados mais seis valores de previsão iguais a 98,20 e mais seis resíduos iguais a 1,80. Assim, pode-se plotar os gráficos das Figuras 5.7 e 5.8.

Figura 5.7: Gráfico de resíduos *versus* valores de previsão
(Modelo de desempenho empírico de seções de vias coletoras)

Figura 5.8: Gráfico de resíduos *versus* valores da variável tempo
(Modelo de desempenho empírico de seções de vias coletoras)

Os gráficos das Figuras 5.7 e 5.8 complementam a verificação da adequabilidade do modelo exponencial, na medida em que não se observa claramente uma forma curvilínea na distribuição dos resíduos. Observa-se uma distribuição aleatória em torno de zero, indicando, porém, maior variância nos primeiros anos de vida em serviço dos pavimentos.

A partir do modelo empírico da Equação 4.6, pode-se obter o gráfico da Figura 5.9, que ilustra a curva de desempenho de seções de vias locais. Neste gráfico também são plotados os valores reais de ICP, correspondentes aos resultados da avaliação da condição atual dos pavimentos das seções de vias locais selecionadas. O coeficiente de determinação pode ser calculado através da Equação 5.1. Substituindo os valores, encontra-se $R^2 = 0,84$.

Figura 5.9: Gráfico para análise do modelo de desempenho empírico de seções de vias locais

Analisando o valor do coeficiente de determinação e o gráfico da Figura 5.9, verifica-se que o modelo da Equação 4.6 pode ser utilizado para a previsão do desempenho dos pavimentos de seções de vias locais de Araraquara. Deve-se considerar, porém, ao analisar o desempenho dos pavimentos nos primeiros anos de vida em serviço, uma pequena diferença entre os valores reais e os valores de previsão.

Para a análise dos resíduos, são calculados os valores de previsão ($\hat{ICP}$) e, conseqüentemente, os resíduos ($ICP - \hat{ICP}$) para as seis seções utilizadas na análise de regressão. Além de apresentar esses valores, a Tabela 5.4 mostra os valores da variável tempo, necessários para a análise de resíduos.

Tabela 5.4: Valores da variável tempo, valores de previsão e resíduos
(Modelo de desempenho empírico de seções de vias locais)

Seção	Tempo (anos)	Previsão	Resíduo
3	37	77,58	2,42
6	22	85,42	4,58
9	7	94,06	-4,06
12	37	77,58	-2,58
15	22	85,42	-0,42
18	7	94,06	-9,06

Para cada seção, além do valor de ICP atual, considera-se também o valor de ICP igual a 100, relativo à condição da seção recém-construída (ano "0"). Portanto, devem ser considerados mais seis valores de previsão iguais a 98,38 e mais seis resíduos iguais a 1,62. Assim, pode-se plotar os gráficos das Figuras 5.10 e 5.11.

Figura 5.10: Gráfico de resíduos *versus* valores de previsão
(Modelo de desempenho empírico de seções de vias locais)

Figura 5.11: Gráfico de resíduos *versus* valores da variável tempo
(Modelo de desempenho empírico de seções de vias locais)

Os gráficos das Figuras 5.10 e 5.11 complementam a verificação da adequabilidade do modelo exponencial, na medida em que não se observa claramente uma forma curvilínea na distribuição dos resíduos. Observa-se uma distribuição aleatória em torno de zero, indicando, porém, maior variância nos primeiros anos de vida em serviço dos pavimentos.

A partir do modelo empírico da Equação 4.7, pode-se obter o gráfico da Figura 5.12, que ilustra a curva de desempenho de seções submetidas a atividades de M&R. Neste gráfico também são plotados os valores reais de ICP, correspondentes aos resultados da avaliação da condição atual dos pavimentos das seções selecionadas. Vale lembrar que todos os valores relativos à variável tempo são acrescidos de 15 anos. O coeficiente de determinação pode ser calculado através da Equação 5.1. Substituindo os valores, encontra-se $R^2 = 0,85$.

Figura 5.12: Gráfico para análise do modelo de desempenho empírico de seções submetidas a atividades de M&R

Analisando o valor do coeficiente de determinação e o gráfico da Figura 5.12, verifica-se que o modelo da Equação 4.7 pode ser utilizado para a previsão do desempenho dos pavimentos de seções submetidas a atividades de M&R de Araraquara. Deve-se considerar, porém, ao analisar o desempenho dos pavimentos nos primeiros anos após a execução das atividades de M&R, uma pequena diferença entre os valores reais e os valores de previsão.

Para a análise dos resíduos, são calculados os valores de previsão ($\hat{ICP}$) e, conseqüentemente, os resíduos ($ICP - \hat{ICP}$) para as nove seções utilizadas na análise de regressão. Além de apresentar esses valores, a Tabela 5.5 mostra os valores da variável tempo, necessários para a análise de resíduos.

Tabela 5.5: Valores da variável tempo, valores de previsão e resíduos (Modelo de desempenho empírico de seções submetidas a atividades de M&R)

Seção	Tempo (anos)	Previsão	Resíduo
1	37	77,23	-2,23
2	37	77,23	2,77
3	37	77,23	2,77
4	22	85,16	-5,16
5	22	85,16	-0,16
6	22	85,16	4,84
7	7	93,91	-8,91
8	7	93,91	-3,91
9	7	93,91	-3,91

Para cada seção, além do valor de ICP atual, considera-se também o valor de ICP igual a 100, relativo à condição da seção logo após a execução das atividades de M&R (ano "15"). Portanto, devem ser considerados mais nove valores de previsão iguais a 98,30 e mais nove resíduos iguais a 1,70. Assim, pode-se plotar os gráficos das Figuras 5.13 e 5.14.

Figura 5.13: Gráfico de resíduos *versus* valores de previsão (Modelo de desempenho empírico de seções submetidas a atividades de M&R)

Figura 5.14: Gráfico de resíduos *versus* valores da variável tempo (Modelo de desempenho empírico de seções submetidas a atividades de M&R)

Os gráficos das Figuras 5.13 e 5.14 complementam a verificação da adequabilidade do modelo exponencial, na medida em que não se observa claramente uma forma curvilínea na distribuição dos resíduos. Observa-se uma distribuição aleatória em torno de zero, indicando, porém, maior variância nos primeiros anos após a execução das atividades de M&R.

A partir do modelo empírico da Equação 4.8, pode-se obter o gráfico da Figura 5.15, que ilustra a curva de desempenho de seções não submetidas a atividades de M&R. Neste gráfico também são plotados os valores reais de ICP, correspondentes aos resultados da avaliação da condição atual dos pavimentos das seções selecionadas. O coeficiente de determinação pode ser calculado através da Equação 5.1. Substituindo os valores, encontra-se $R^2 = 0,83$.

Figura 5.15: Gráfico para análise do modelo de desempenho empírico de seções não submetidas a atividades de M&R

Analisando o valor do coeficiente de determinação e o gráfico da Figura 5.15, verifica-se que o modelo da Equação 4.8 pode ser utilizado para a previsão do desempenho dos pavimentos de seções não submetidas a atividades de M&R de Araraquara. Deve-se considerar, porém, ao analisar o desempenho dos pavimentos nos primeiros anos de vida em serviço, uma diferença significativa entre os valores reais e os valores de previsão.

Para a análise dos resíduos, são calculados os valores de previsão ($\hat{ICP}$) e, conseqüentemente, os resíduos ($ICP - \hat{ICP}$) para as nove seções utilizadas na análise de regressão. Além de apresentar esses valores, a Tabela 5.6 mostra os valores da variável tempo, necessários para a análise de resíduos.

Tabela 5.6: Valores da variável tempo, valores de previsão e resíduos (Modelo de desempenho empírico de seções não submetidas a atividades de M&R)

Seção	Tempo (anos)	Previsão	Resíduo
10	37	72,71	-2,71
11	37	72,71	2,29
12	37	72,71	2,29
13	22	81,90	-1,90
14	22	81,90	3,10
15	22	81,90	3,10
16	7	92,24	-12,24
17	7	92,24	-7,24
18	7	92,24	-7,24

Para cada seção, além do valor de ICP atual, considera-se também o valor de ICP igual a 100, relativo à condição da seção recém-construída (ano "0"). Portanto, devem ser considerados mais nove valores de previsão iguais a 97,51 e mais nove resíduos iguais a 2,49. Assim, pode-se plotar os gráficos das Figuras 5.16 e 5.17.

Figura 5.16: Gráfico de resíduos *versus* valores de previsão (Modelo de desempenho empírico de seções não submetidas a atividades de M&R)

Figura 5.17: Gráfico de resíduos *versus* valores da variável tempo (Modelo de desempenho empírico de seções não submetidas a atividades de M&R)

Os gráficos das Figuras 5.16 e 5.17 complementam a verificação da adequabilidade do modelo exponencial, na medida em que não se observa claramente uma forma curvilínea na distribuição dos resíduos. Observa-se uma distribuição aleatória em torno de zero, indicando, porém, maior variância nos primeiros anos de vida em serviço dos pavimentos.

É importante colocar que modelos desenvolvidos, por exemplo, por QUEIRÓZ (1983) e por JACKSON & MAHONEY (1990) têm sido utilizados na previsão do desempenho de pavimentos, mesmo apresentando coeficientes de determinação bem inferiores aos obtidos neste trabalho.

Para analisar a influência da variável classificação funcional sobre o comportamento dos pavimentos ao longo do tempo, pode-se plotar, em um mesmo gráfico (Figura 5.18), as curvas de desempenho de seções de vias arteriais, coletoras e locais.

Figura 5.18: Gráfico para análise da influência da variável classificação funcional (Modelos de desempenho empíricos)

Analisando o gráfico da Figura 5.18, verifica-se que seções de vias arteriais deterioram mais rapidamente do que seções de vias coletoras e locais. Além disso, seções de vias coletoras e locais apresentam praticamente o mesmo comportamento ao longo do tempo. O fato de apresentarem a mesma estrutura de pavimento pode explicar a semelhança entre as curvas de desempenho, mesmo sendo submetidas a volumes de tráfego diferentes.

É importante ressaltar que, em vias urbanas com pouco tráfego, os efeitos climáticos exercem maior influência sobre a condição dos pavimentos, fazendo com que sejam necessárias atividades de manutenção da estrutura dos pavimentos e dos elementos de drenagem.

Comprova-se, assim, que a gerência de pavimentos é muito mais importante do que o dimensionamento estrutural por si só, uma vez que abrange o aspecto construtivo e as atividades de M&R, sendo responsável pela monitorização do desempenho dos pavimentos.

Para analisar a influência da variável atividades de M&R sobre o comportamento dos pavimentos ao longo do tempo, pode-se plotar, em um mesmo gráfico (Figura 5.19), as curvas de desempenho de seções submetidas e não submetidas a atividades de M&R.

Vale lembrar que todos os valores relativos à variável tempo da curva de desempenho de seções submetidas a atividades de M&R são acrescidos de 15 anos. Salienta-se, porém, a necessidade de informações sobre datas e número de atividades de M&R em cada seção, para tornar mais eficientes os modelos de desempenho.

Figura 5.19: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R (Modelos de desempenho empíricos)

Analisando o gráfico da Figura 5.19, verifica-se que seções não submetidas a atividades de M&R deterioram mais rapidamente do que seções submetidas a atividades de M&R. Por exemplo, enquanto seções não submetidas apresentam ICP igual a 90 após aproximadamente dez anos de vida em serviço dos pavimentos, seções submetidas a atividades de M&R apresentam essa condição quase 15 anos após a execução dessas atividades.

Verifica-se também que as seções são submetidas a atividades de M&R quando apresentam, em média, ICP igual a 85 (ano "15"). Se esse valor fosse realmente o nível de aceitabilidade mínimo adotado em Araraquara, somente após 20 anos (ano "35"), as seções deveriam ser novamente submetidas a atividades de M&R. Em outras palavras, se o valor médio de 15 anos fosse válido para todas as seções, o segundo ciclo de vida dos pavimentos seria maior que o primeiro.

Acredita-se que, após 15 anos, os pavimentos ainda não estejam comprometidos estruturalmente, explicando o aumento do ciclo de vida. Entretanto, não é possível determinar a data ideal para execução das atividades de M&R, isto é, a data limite em que os pavimentos ainda não estejam comprometidos estruturalmente, definindo, assim, o nível de aceitabilidade mínimo e tornando as atividades de M&R mais eficientes. Provavelmente, a continuação das observações em outras cidades de médio porte poderá explicar se Araraquara é, de fato, o exemplo a ser seguido ou aperfeiçoado.

5.2 - Análise dos modelos subjetivos

Analisa-se, inicialmente, a validade dos modelos de desempenho subjetivos obtidos a partir das matrizes de probabilidades de transição e dos vetores estado apresentados no Anexo C. Em seguida, como os modelos subjetivos são desenvolvidos para cada combinação de fatores, pode-se analisar a influência das variáveis ano de construção e classificação funcional sobre o desempenho dos pavimentos. Em todos os casos, pode-se analisar também a influência da variável atividades de M&R.

Como será visto a seguir, há uma diferença significativa entre o desempenho dos pavimentos desde a construção até a data atual e o desempenho previsto pelos especialistas a partir da data atual. Os modelos empíricos mostram que todas as seções apresentam, em média, após 40 anos de vida em serviço, uma variação de ICP menor que 30. Já os modelos subjetivos mostram que a grande maioria das seções estará, logo após 10 anos, praticamente destruída se não for submetida a atividades de M&R. Em outras palavras, segundo os modelos subjetivos, os pavimentos apresentarão uma deterioração muito mais rápida do que a observada, segundo os modelos empíricos.

Os diferentes resultados observados não significam que os modelos subjetivos não sejam válidos e que os modelos empíricos sejam mais adequados para a previsão do desempenho dos pavimentos a partir da data atual. Ressalta-se, que, enquanto os modelos empíricos representam o desempenho dos pavimentos desde a construção até a data atual, os modelos subjetivos permitem a previsão da condição dos pavimentos a partir da data atual.

Mesmo assim, é evidente que os modelos subjetivos mostram valores bem inferiores aos que provavelmente ocorrerão. Entretanto, a simples extrapolação dos modelos empíricos para os próximos 40 anos talvez não conduza a resultados satisfatórios. As análises de gerência raramente contemplam um período tão longo, sendo mais eficiente a calibração periódica dos modelos, com informações sobre avaliações da condição dos pavimentos ao longo do tempo.

Por outro lado, para a composição das matrizes de probabilidades de transição, são consideradas somente informações atuais sobre a rede pavimentada urbana de Araraquara. Não são consideradas atividades de M&R que certamente deverão ser executadas, mesmo não sendo respeitado o nível de aceitabilidade mínimo ($ICP = 85$), pois, quando as seções apresentarem ICPs inferiores a 40, estarão praticamente destruídas. Portanto, acredita-se que os modelos subjetivos sejam válidos no período decorrido desde a data atual até a data em que o pavimento apresente ICP igual a 40. Deve-se destacar, porém, a necessidade de monitorização do desempenho dos pavimentos, contribuindo para o desenvolvimento dos modelos.

Acredita-se, também, que a análise da influência de cada variável sobre o desempenho dos pavimentos seja mais indicada a partir dos modelos subjetivos, pois têm a vantagem de permitir análises mais detalhadas do desempenho de cada seção selecionada.

Para analisar a influência da variável ano de construção sobre o desempenho de seções de vias arteriais submetidas a atividades de M&R, são plotadas, no gráfico da Figura 5.20, as curvas de desempenho das seções 1 (antiga, isto é, construída entre 1955 e 1969), 4 (intermediária, isto é, construída entre 1970 e 1984) e 7 (nova, isto é, construída a partir de 1985).

Figura 5.20: Gráfico para análise da influência da variável ano de construção em seções de vias arteriais submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando o gráfico da Figura 5.20, verifica-se que, desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias arteriais antigas e intermediárias apresentarão curvas de desempenho semelhantes, deteriorando mais rapidamente do que seções de vias arteriais novas. Considerando o ICP igual a 40 como sendo o nível de aceitabilidade mínimo, seções de vias arteriais antigas deverão ser novamente submetidas a atividades de M&R daqui a cinco anos, seções de vias arteriais intermediárias daqui a seis anos e seções de vias arteriais novas daqui a dez anos.

Para analisar a influência da variável ano de construção sobre o desempenho de seções de vias arteriais não submetidas a atividades de M&R, são plotadas, no gráfico da Figura 5.21, as curvas de desempenho das seções 10 (antiga), 13 (intermediária) e 16 (nova).

Figura 5.21: Gráfico para análise da influência da variável ano de construção em seções de vias arteriais não submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando o gráfico da Figura 5.21, verifica-se que a variável atividades de M&R praticamente não interfere no formato das curvas de desempenho de seções de vias arteriais. Entretanto, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias arteriais antigas deverão ser submetidas a atividades de M&R daqui a três anos, seções de vias arteriais intermediárias daqui a cinco anos e seções de vias arteriais novas daqui a oito anos.

Para analisar a influência da variável ano de construção sobre o desempenho de seções de vias coletoras submetidas a atividades de M&R, são plotadas, no gráfico da Figura 5.22, as curvas de desempenho das seções 2 (antiga), 5 (intermediária) e 8 (nova).

Figura 5.22: Gráfico para análise da influência da variável ano de construção em seções de vias coletoras submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando o gráfico da Figura 5.22, verifica-se que, desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias coletoras antigas irão deteriorar paulatinamente nos dois primeiros anos e significativamente nos próximos cinco anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R. Seções de vias coletoras intermediárias irão deteriorar significativamente nos nove primeiros anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R. Seções de vias coletoras novas irão deteriorar paulatinamente nos cinco primeiros anos e significativamente nos próximos nove anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R.

Para analisar a influência da variável ano de construção sobre o desempenho de seções de vias coletoras não submetidas a atividades de M&R, são plotadas, no gráfico da Figura 5.23, as curvas de desempenho das seções 11 (antiga), 14 (intermediária) e 17 (nova).

Figura 5.23: Gráfico para análise da influência da variável ano de construção em seções de vias coletoras não submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando o gráfico da Figura 5.23, verifica-se que a variável atividades de M&R praticamente não interfere no formato das curvas de desempenho de seções de vias coletoras intermediárias e novas. Entretanto, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias coletoras intermediárias deverão ser submetidas a atividades de M&R daqui a oito anos e seções de vias coletoras novas daqui a 11 anos. Além disso, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias coletoras antigas irão deteriorar significativamente nos quatro primeiros anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R.

Para analisar a influência da variável ano de construção sobre o desempenho de seções de vias locais submetidas a atividades de M&R, são plotadas, no gráfico da Figura 5.24, as curvas de desempenho das seções 3 (antiga), 6 (intermediária) e 9 (nova).

Figura 5.24: Gráfico para análise da influência da variável ano de construção em seções de vias locais submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando o gráfico da Figura 5.24, verifica-se que, desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias locais antigas irão deteriorar paulatinamente nos três primeiros anos e significativamente nos próximos cinco anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R. Seções de vias locais intermediárias irão deteriorar paulatinamente nos cinco primeiros anos e significativamente nos próximos sete anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R. Seções de vias locais novas praticamente não irão deteriorar nos cinco primeiros anos e irão deteriorar paulatinamente nos próximos 20 anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R.

Para analisar a influência da variável ano de construção sobre o desempenho de seções de vias locais não submetidas a atividades de M&R, são plotadas, no gráfico da Figura 5.25, as curvas de desempenho das seções 12 (antiga), 15 (intermediária) e 18 (nova).

Figura 5.25: Gráfico para análise da influência da variável ano de construção em seções de vias locais não submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando o gráfico da Figura 5.25, verifica-se que, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias locais antigas irão deteriorar significativamente nos cinco primeiros anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R. Seções de vias locais intermediárias irão deteriorar significativamente nos dez primeiros anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R. Seções de vias locais novas irão deteriorar paulatinamente nos 13 primeiros anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R.

Para analisar a influência da variável classificação funcional sobre o desempenho de seções antigas submetidas a atividades de M&R, são plotadas, no gráfico da Figura 5.26, as curvas de desempenho das seções 1 (via arterial), 2 (via coletora) e 3 (via local).

Figura 5.26: Gráfico para análise da influência da variável classificação funcional em seções antigas submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando o gráfico da Figura 5.26, verifica-se que, desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções antigas de vias arteriais, coletoras e locais apresentarão curvas de desempenho semelhantes. Seções antigas de vias arteriais deverão ser submetidas a atividades de M&R daqui a cinco anos, seções antigas de vias coletoras daqui a sete anos e seções antigas de vias locais daqui a oito anos.

Para analisar a influência da variável classificação funcional sobre o desempenho de seções antigas não submetidas a atividades de M&R, são plotadas, no gráfico da Figura 5.27, as curvas de desempenho das seções 10 (via arterial), 11 (via coletora) e 12 (via local).

Figura 5.27: Gráfico para análise da influência da variável classificação funcional em seções antigas não submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando o gráfico da Figura 5.27, verifica-se que a variável atividades de M&R praticamente não interfere no formato das curvas de desempenho de seções antigas. Entretanto, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, seções antigas de vias arteriais deverão ser submetidas a atividades de M&R daqui a três anos, seções antigas de vias coletoras daqui a quatro anos e seções antigas de vias locais daqui a cinco anos.

Para analisar a influência da variável classificação funcional sobre o desempenho de seções intermediárias submetidas a atividades de M&R, são plotadas, no gráfico da Figura 5.28, as curvas de desempenho das seções 4 (via arterial), 5 (via coletora) e 6 (via local).

Figura 5.28: Gráfico para análise da influência da variável classificação funcional em seções intermediárias submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando o gráfico da Figura 5.28, verifica-se que, desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções intermediárias de vias arteriais irão deteriorar significativamente nos seis primeiros anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R. Seções intermediárias de vias coletoras irão deteriorar significativamente nos nove primeiros anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R. Seções intermediárias de vias locais irão deteriorar paulatinamente nos cinco primeiros anos e significativamente nos próximos sete anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R.

Para analisar a influência da variável classificação funcional sobre o desempenho de seções intermediárias não submetidas a atividades de M&R, são plotadas, no gráfico da Figura 5.29, as curvas de desempenho das seções 13 (via arterial), 14 (via coletora) e 15 (via local).

Figura 5.29: Gráfico para análise da influência da variável classificação funcional em seções intermediárias não submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando o gráfico da Figura 5.29, verifica-se que a variável atividades de M&R praticamente não interfere no formato das curvas de desempenho de seções intermediárias de vias arteriais e coletoras, mas melhora o desempenho de seções intermediárias de vias locais, pois, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, seções intermediárias de vias coletoras e locais apresentarão desempenhos semelhantes nos cinco primeiros anos. Após cinco anos, seções intermediárias de vias locais deterioram mais lentamente.

Para analisar a influência da variável classificação funcional sobre o desempenho de seções novas submetidas a atividades de M&R, são plotadas, no gráfico da Figura 5.30, as curvas de desempenho das seções 7 (via arterial), 8 (via coletora) e 9 (via local).

Figura 5.30: Gráfico para análise da influência da variável classificação funcional em seções novas submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando o gráfico da Figura 5.30, verifica-se que, desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções novas de vias arteriais irão deteriorar significativamente nos primeiros dez anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R. Seções novas de vias coletoras irão deteriorar paulatinamente nos cinco primeiros anos e significativamente nos próximos nove anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R. Seções novas de vias locais praticamente não irão deteriorar nos cinco primeiros anos e irão deteriorar paulatinamente nos próximos 20 anos, devendo então ser submetidas a atividades de M&R.

Para analisar a influência da variável classificação funcional sobre o desempenho de seções novas não submetidas a atividades de M&R, são plotadas, no gráfico da Figura 5.31, as curvas de desempenho das seções 16 (via arterial), 17 (via coletora) e 18 (via local).

Figura 5.31: Gráfico para análise da influência da variável classificação funcional em seções novas não submetidas a atividades de M&R (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando o gráfico da Figura 5.31, verifica-se que, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, seções novas de vias arteriais, coletoras e locais apresentarão curvas de desempenho semelhantes. Seções novas de vias arteriais deverão ser submetidas a atividades de M&R daqui a oito anos, seções novas de vias coletoras daqui a 11 anos e seções novas de vias locais daqui a 13 anos.

Para analisar a influência da variável atividades de M&R sobre o desempenho de seções de vias arteriais antigas, são plotadas, no gráfico da Figura 5.32, as curvas de desempenho das seções 1 (submetida a atividades de M&R) e 10 (não submetida a atividades de M&R).

Para analisar a influência da variável atividades de M&R sobre o desempenho de seções de vias arteriais intermediárias, são plotadas, no gráfico da Figura 5.33, as curvas de desempenho das seções 4 (submetida a atividades de M&R) e 13 (não submetida a atividades de M&R).

Para analisar a influência da variável atividades de M&R sobre o desempenho de seções de vias arteriais novas, são plotadas, no gráfico da Figura 5.34, as curvas de desempenho das seções 7 (submetida a atividades de M&R) e 16 (não submetida a atividades de M&R).

Figura 5.32: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias arteriais antigas (Modelos de desempenho subjetivos)

Figura 5.33: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias arteriais intermediárias (Modelos de desempenho subjetivos)

Figura 5.34: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias arteriais novas (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando os gráficos das Figuras 5.32, 5.33 e 5.34, verifica-se pequena influência da variável atividades de M&R em seções de vias arteriais. Desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias arteriais antigas apresentarão ICP igual a 40 daqui a aproximadamente cinco anos e, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, daqui a três anos. Desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias arteriais intermediárias apresentarão ICP igual a 40 daqui a aproximadamente seis anos e, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, daqui a cinco anos. Desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias arteriais novas apresentarão ICP igual a 40 daqui a aproximadamente dez anos e, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, daqui a oito anos.

Para analisar a influência da variável atividades de M&R sobre o desempenho de seções de vias coletoras antigas, são plotadas, no gráfico da Figura 5.35, as curvas de desempenho das seções 2 (submetida a atividades de M&R) e 11 (não submetida a atividades de M&R).

Para analisar a influência da variável atividades de M&R sobre o desempenho de seções de vias coletoras intermediárias, são plotadas, no gráfico da Figura 5.36, as curvas de desempenho das seções 5 (submetida a atividades de M&R) e 14 (não submetida a atividades de M&R).

Para analisar a influência da variável atividades de M&R sobre o desempenho de seções de vias coletoras novas, são plotadas, no gráfico da Figura 5.37, as curvas de desempenho das seções 8 (submetida a atividades de M&R) e 17 (não submetida a atividades de M&R).

Figura 5.35: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias coletoras antigas (Modelos de desempenho subjetivos)

Figura 5.36: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias coletoras intermediárias (Modelos de desempenho subjetivos)

Figura 5.37: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias coletoras novas (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando os gráficos das Figuras 5.35, 5.36 e 5.37, verifica-se também pequena influência da variável atividades de M&R em seções de vias coletoras. Desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias coletoras antigas apresentarão ICP igual a 40 daqui a aproximadamente sete anos e, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, daqui a quatro anos. Desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias coletoras intermediárias apresentarão ICP igual a 40 daqui a aproximadamente nove anos e, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, daqui a oito anos. Desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias coletoras novas apresentarão ICP igual a 40 daqui a aproximadamente 14 anos e, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, daqui a 11 anos.

Para analisar a influência da variável atividades de M&R sobre o desempenho de seções de vias locais antigas, são plotadas, no gráfico da Figura 5.38, as curvas de desempenho das seções 3 (submetida a atividades de M&R) e 12 (não submetida a atividades de M&R).

Para analisar a influência da variável atividades de M&R sobre o desempenho de seções de vias locais intermediárias, são plotadas, no gráfico da Figura 5.39, as curvas de desempenho das seções 6 (submetida a atividades de M&R) e 15 (não submetida a atividades de M&R).

Para analisar a influência da variável atividades de M&R sobre o desempenho de seções de vias locais novas, são plotadas, no gráfico da Figura 5.40, as curvas de desempenho das seções 9 (submetida a atividades de M&R) e 18 (não submetida a atividades de M&R).

Figura 5.38: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias locais antigas (Modelos de desempenho subjetivos)

Figura 5.39: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias locais intermediárias (Modelos de desempenho subjetivos)

Figura 5.40: Gráfico para análise da influência da variável atividades de M&R em seções de vias locais novas (Modelos de desempenho subjetivos)

Analisando os gráficos das Figuras 5.38, 5.39 e 5.40, verifica-se grande influência da variável atividades de M&R em seções de vias locais, particularmente em seções de vias locais novas. Desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias locais antigas apresentarão ICP igual a 40 daqui a aproximadamente oito anos e, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, daqui a cinco anos. Desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias locais intermediárias apresentarão ICP igual a 40 daqui a aproximadamente 12 anos e, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, daqui a dez anos. Desde que tenham sido submetidas a atividades de M&R, seções de vias locais novas apresentarão ICP igual a 40 daqui a aproximadamente 25 anos e, quando não tiverem sido submetidas a atividades de M&R, daqui a 13 anos.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões da pesquisa, expondo o objetivo alcançado e as particularidades dos modelos de desempenho e sugerindo estratégias para a gerência de pavimentos urbanos e assuntos para trabalhos futuros.

Nesta pesquisa foram desenvolvidos e adaptados modelos de desempenho aos fatores que condicionam as atividades de manutenção e reabilitação na cidade de Araraquara no interior do Estado de São Paulo, como contribuição para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos, que permitam aos organismos municipais de cidades brasileiras de médio porte racionalizar o processo de tomada de decisões sobre as atividades de manutenção e reabilitação.

Para a obtenção dos modelos de desempenho dos pavimentos de Araraquara, foi realizado um planejamento de experimentos através de uma programação fatorial, levando em consideração os fatores: ano de construção dos pavimentos, atividades de manutenção e reabilitação, classificação funcional das vias, tráfego e estrutura dos pavimentos. Foram coletados os dados do inventário das seções definidas pela programação fatorial, foi realizada a avaliação subjetiva da condição atual dos pavimentos e a estimativa das matrizes de probabilidades de transição, necessárias para prever como os pavimentos deterioram com o tempo, seguindo o método de entrevistas de Delfos e utilizando o Índice de Condição do Pavimento (ICP).

Foram desenvolvidos modelos que permitem o cálculo do Índice de Condição do Pavimento (ICP) de qualquer seção, a partir de informações sobre o ano de construção do pavimento, a classificação funcional da via e as atividades de M&R executadas. Dessa forma, pode-se avaliar os efeitos de cada fator sobre o desempenho dos pavimentos. Destaca-se que a manutenção de um banco de dados com informações sobre os fatores que afetam o desempenho dos pavimentos é condição primária para o sucesso de um Sistema de Gerência de Pavimentos.

Foram utilizados dois processos para a previsão do desempenho: modelos empíricos e modelos subjetivos. Os modelos empíricos foram obtidos a partir de análises estatísticas de dados coletados ao longo da vida em serviço dos pavimentos. Mostram o que efetivamente ocorreu com os pavimentos desde a construção até a data atual, mas também podem ser utilizados para a previsão do desempenho a partir da data atual. Os modelos subjetivos (estocásticos) foram obtidos com o desenvolvimento de matrizes de probabilidades de transição, estimadas a partir da opinião de especialistas através de métodos formais de entrevistas.

Através da comparação entre os dois processos, torna-se evidente a necessidade de calibração periódica dos modelos, principalmente dos modelos subjetivos, cujos resultados indicam uma deterioração muito mais rápida do que a observada desde a construção dos pavimentos. Além disso, para que os modelos empíricos sejam mais eficientes, são necessárias informações sobre avaliações da condição dos pavimentos ao longo do tempo.

Sugere-se, portanto, como etapa inicial do processo de gerência de pavimentos urbanos, a manutenção, por parte dos organismos municipais, de arquivos de dados com informações sobre os fatores que afetam o desempenho dos pavimentos e sobre avaliações periódicas da condição dos pavimentos.

Salienta-se que não se deve estender para outras cidades, sem os ajustes necessários, as curvas de desempenho desenvolvidas nesta pesquisa, uma vez que a condição geral da rede pavimentada de Araraquara é muito boa e outras cidades não adotam políticas de manutenção e reabilitação semelhantes à política adotada em Araraquara.

Verifica-se, porém, que os processos para obtenção dos modelos e os fatores que afetam o desempenho de pavimentos urbanos considerados nesta pesquisa são válidos para quaisquer cidades brasileiras de médio porte. Acredita-se, portanto, que a continuação dos estudos em outras cidades de médio porte possa permitir conclusões mais seguras, desde que haja dados disponíveis para as análises estatísticas e especialistas familiarizados com o processo de obtenção das matrizes e com a rede pavimentada a ser analisada.

Além disso, foi verificada, em praticamente todas as análises realizadas nesta pesquisa, uma significativa influência da variável atividades de M&R sobre o comportamento dos pavimentos ao longo do tempo. Sugere-se, pois, em trabalhos futuros, levar em consideração mais informações sobre essas atividades, como, por exemplo, as datas e número das intervenções ao longo do período de análise. Para isso, torna-se necessária a existência dessas informações em arquivos de dados mantidos pelos organismos municipais.

Dessa forma, não só os modelos de desempenho, como também o processo de tomada de decisões sobre as atividades de manutenção e reabilitação tornam-se cada vez mais eficientes, contribuindo para o permanente aperfeiçoamento dos Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos de cidades brasileiras de médio porte.

ANEXO A

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DA REDE PAVIMENTADA URBANA DE ARARAQUARA-SP

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

Número da seção: 1
Ramo: r. Antônio Prado
Marco de início: Av. D. Pedro II
Marco de fim: Av. Brasil
Tipo de pavimento: Flexível
Comprimento: 85m
Largura: 6,3m
Número de faixas: 3

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

Número da seção: 2
Ramo: Av. Espanha
Marco de início: r. Pedro Álvares Cabral
Marco de fim: r. Humaitá
Tipo de pavimento: Flexível
Comprimento: 94m
Largura: 8,0m
Número de faixas: 3

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

Número da seção: 3
Ramo: r. Pará
Marco de início: Av. Paraíba
Marco de fim: Av. Pernambuco
Tipo de pavimento: Flexível
Comprimento: 100m
Largura: 8,0m
Número de faixas: 2

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

Número da seção: 4
Ramo: Av. Maria Antônia C. de Oliveira
Marco de início: Av. Pe. Oscar C. Azeredo
Marco de fim: Av. Mauá
Tipo de pavimento: Flexível
Comprimento: 88m
Largura: 9,3m
Número de faixas: 3

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

Número da seção: 5
Ramo: Av. José Bonifácio
Marco de início: r. Voluntários da Pátria
Marco de fim: r. Pe. Duarte
Tipo de pavimento: Flexível
Comprimento: 92m
Largura: 8,0m
Número de faixas: 3

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

Número da seção: 6
Ramo: Av. r. Ceará
Marco de início: Av. Antônio Lourenço Corrêa
Marco de fim: Av. Daniel Caldas de Mesquita
Tipo de pavimento: Flexível
Comprimento: 82m
Largura: 8,0m
Número de faixas: 3

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

Número da seção: 7
 Ramo: Av. Francisco Vaz Filho
 Marco de início: r. Amazonas
 Marco de fim: r. Pará
 Tipo de pavimento: Flexível
 Comprimento: 110m
 Largura: 6,3m
 Número de faixas: 2

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

Número da seção: 8
 Ramo: Av. São João
 Marco de início: r. Trajano Gomes da Silva
 Marco de fim: r. José Monteiro
 Tipo de pavimento: Flexível
 Comprimento: 64m
 Largura: 7,0m
 Número de faixas: 2

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

Número da seção: 9
 Ramo: r. Carlos Olympio Tostes
 Marco de início: r. Papa João XXIII
 Marco de fim: r. Raul de Oliveira Bueno
 Tipo de pavimento: Flexível
 Comprimento: 209m
 Largura: 9,1m
 Número de faixas: 4

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

Número da seção: 10
 Ramo: Av. Pe. Francisco Colturato
 Marco de início: r. Tupi
 Marco de fim: r. São Bento
 Tipo de pavimento: Flexível
 Comprimento: 157m
 Largura: 9,0m
 Número de faixas: 3

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

Número da seção: 11
 Ramo: Av. Espanha
 Marco de início: r. Humaitá
 Marco de fim: r. Expedicionários do Brasil
 Tipo de pavimento: Flexível
 Comprimento: 87m
 Largura: 8,0m
 Número de faixas: 3

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

Número da seção: 12
 Ramo: r. dos Jasmins
 Marco de início: r. Carvalho Filho
 Marco de fim: Av. Circular Dr. Gastão Vidigal
 Tipo de pavimento: Flexível
 Comprimento: 60m
 Largura: 9,8m
 Número de faixas: 4

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

<i>Número da seção: 13</i>
<i>Ramo: Av. Maria Antônia C. de Oliveira</i>
<i>Marco de início: Av. Djalma Dutra</i>
<i>Marco de fim: Av. Mário Ybarra de Almeida</i>
<i>Tipo de pavimento: Flexível</i>
<i>Comprimento: 94m</i>
<i>Largura: 9,3m</i>
<i>Número de faixas: 3</i>

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

<i>Número da seção: 14</i>
<i>Ramo: Av. José Bonifácio</i>
<i>Marco de início: r. São Bento</i>
<i>Marco de fim: r. 9 de Julho</i>
<i>Tipo de pavimento: Flexível</i>
<i>Comprimento: 68m</i>
<i>Largura: 8,0m</i>
<i>Número de faixas: 3</i>

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

<i>Número da seção: 15</i>
<i>Ramo: Av. Paraíba</i>
<i>Marco de início: r. dos Estados</i>
<i>Marco de fim: r. Piauí</i>
<i>Tipo de pavimento: Flexível</i>
<i>Comprimento: 80m</i>
<i>Largura: 8,0m</i>
<i>Número de faixas: 2</i>

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

<i>Número da seção: 16</i>
<i>Ramo: r. José Palamone Lepre</i>
<i>Marco de início: Av. Antônio Honório Real</i>
<i>Marco de fim: "+100m" (sentido Centro)</i>
<i>Tipo de pavimento: Flexível</i>
<i>Comprimento: 100m</i>
<i>Largura: 11,0m</i>
<i>Número de faixas: 2</i>

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

<i>Número da seção: 17</i>
<i>Ramo: Av. Antônio Honório Real</i>
<i>Marco de início: r. Waldomiro Zamariolli</i>
<i>Marco de fim: r. Heitor de Nuevo Campos</i>
<i>Tipo de pavimento: Flexível</i>
<i>Comprimento: 53m</i>
<i>Largura: 8,6m</i>
<i>Número de faixas: 3</i>

IDENTIFICAÇÃO DAS SEÇÕES DE PAVIMENTO

<i>Número da seção: 18</i>
<i>Ramo: Av. Remo Frontarolli</i>
<i>Marco de início: r. Eng. José Carlos Blundi</i>
<i>Marco de fim: r. Synésio Wyss Barreto</i>
<i>Tipo de pavimento: Flexível</i>
<i>Comprimento: 100m</i>
<i>Largura: 8,8m</i>
<i>Número de faixas: 4</i>

ANEXO B

CÁLCULO DOS EFEITOS DOS FATORES SOBRE A RESPOSTA DO MODELO EMPÍRICO

Símbolos usados no cálculo:

- α : variável quantitativa da programação fatorial: ano de construção
- β : variável qualitativa da programação fatorial: classificação funcional
- χ : variável qualitativa da programação fatorial: atividades de M&R
- σ^2 : variância dos efeitos das variáveis da programação fatorial
- a: período de construção dos pavimentos compreendido entre 1955 e 1969
- b: período de construção dos pavimentos compreendido entre 1970 e 1984
- c: período de construção dos pavimentos a partir de 1985
- A: seções de pavimento de vias arteriais
- C: seções de pavimento de vias coletoras
- L: seções de pavimento de vias locais
- s: seções de pavimento submetidas a atividades de M&R
- n: seções de pavimento não submetidas a atividades de M&R

Efeitos principais da variável ano de construção (α):

Efeito principal de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>)	β	χ
$ICP_4 - ICP_1 = 80 - 75 = 5$	A	s
$ICP_5 - ICP_2 = 85 - 80 = 5$	C	s
$ICP_6 - ICP_3 = 90 - 80 = 10$	L	s
$ICP_{13} - ICP_{10} = 80 - 70 = 10$	A	n
$ICP_{14} - ICP_{11} = 85 - 75 = 10$	C	n
$ICP_{15} - ICP_{12} = 85 - 75 = 10$	L	n

Conclusão: O efeito principal da variável ano de construção (entre a e b) é dado pela média das 6 medidas: $(5 + 5 + 10 + 10 + 10 + 10)/6 = 8,33$.

Efeito principal de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>)	β	χ
$ICP_7 - ICP_1 = 85 - 75 = 10$	A	s
$ICP_8 - ICP_2 = 90 - 80 = 10$	C	s
$ICP_9 - ICP_3 = 90 - 80 = 10$	L	s
$ICP_{16} - ICP_{10} = 80 - 70 = 10$	A	n
$ICP_{17} - ICP_{11} = 85 - 75 = 10$	C	n
$ICP_{18} - ICP_{12} = 85 - 75 = 10$	L	n

Conclusão: O efeito principal da variável ano de construção (entre a e c) é dado pela média das 6 medidas: $(10 + 10 + 10 + 10 + 10 + 10)/6 = 10,00$.

Efeito principal de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>)	β	χ
$ICP_7 - ICP_4 = 85 - 80 = 5$	A	s
$ICP_8 - ICP_5 = 90 - 85 = 5$	C	s
$ICP_9 - ICP_6 = 90 - 90 = 0$	L	s
$ICP_{16} - ICP_{13} = 80 - 80 = 0$	A	n
$ICP_{17} - ICP_{14} = 85 - 85 = 0$	C	n
$ICP_{18} - ICP_{15} = 85 - 85 = 0$	L	n

Conclusão: O efeito principal da variável ano de construção (entre b e c) é dado pela média das 6 medidas: $(5 + 5 + 0 + 0 + 0 + 0)/6 = 1,67$.

Efeitos principais da variável classificação funcional (β):

Efeito principal de β (entre <u>A</u> e <u>C</u>)	α	χ
$ICP_2 - ICP_1 = 80 - 75 = 5$	a	s
$ICP_5 - ICP_4 = 85 - 80 = 5$	b	s
$ICP_8 - ICP_7 = 90 - 85 = 5$	c	s
$ICP_{11} - ICP_{10} = 75 - 70 = 5$	a	n
$ICP_{14} - ICP_{13} = 85 - 80 = 5$	b	n
$ICP_{17} - ICP_{16} = 85 - 80 = 5$	c	n

Conclusão: O efeito principal da variável classificação funcional (entre A e C) é dado pela média das 6 medidas: $(5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5)/6 = 5,00$.

Efeito principal de β (entre <u>A</u> e <u>L</u>)	α	χ
$ICP_3 - ICP_1 = 80 - 75 = 5$	a	s
$ICP_6 - ICP_4 = 90 - 80 = 10$	b	s
$ICP_9 - ICP_7 = 90 - 85 = 5$	c	s
$ICP_{12} - ICP_{10} = 75 - 70 = 5$	a	n
$ICP_{15} - ICP_{13} = 85 - 80 = 5$	b	n
$ICP_{18} - ICP_{16} = 85 - 80 = 5$	c	n

Conclusão: O efeito principal da variável classificação funcional (entre A e L) é dado pela média das 6 medidas: $(5 + 10 + 5 + 5 + 5 + 5)/6 = 5,83$.

Efeito principal de β (entre <u>C</u> e <u>L</u>)	α	χ
$ICP_3 - ICP_2 = 80 - 80 = 0$	a	s
$ICP_6 - ICP_5 = 90 - 85 = 5$	b	s
$ICP_9 - ICP_8 = 90 - 90 = 0$	c	s
$ICP_{12} - ICP_{11} = 75 - 75 = 0$	a	n
$ICP_{15} - ICP_{14} = 85 - 85 = 0$	b	n
$ICP_{18} - ICP_{17} = 85 - 85 = 0$	c	n

Conclusão: O efeito principal da variável classificação funcional (entre C e L) é dado pela média das 6 medidas: $(0 + 5 + 0 + 0 + 0 + 0)/6 = 0,83$.

Efeito principal da variável atividades de M&R (χ):

Efeito principal de χ	α	β
$ICP_{10} - ICP_1 = 70 - 75 = -5$	a	A
$ICP_{11} - ICP_2 = 75 - 80 = -5$	b	A
$ICP_{12} - ICP_3 = 75 - 80 = -5$	c	A
$ICP_{13} - ICP_4 = 80 - 80 = 0$	a	C
$ICP_{14} - ICP_5 = 85 - 85 = 0$	b	C
$ICP_{15} - ICP_6 = 85 - 90 = -5$	c	C
$ICP_{16} - ICP_7 = 80 - 85 = -5$	a	L
$ICP_{17} - ICP_8 = 85 - 90 = -5$	b	L
$ICP_{18} - ICP_9 = 85 - 90 = -5$	c	L

Conclusão: O efeito principal da variável atividades de M&R é dado pela média das 9 medidas: $(-5 - 5 - 5 + 0 + 0 - 5 - 5 - 5 - 5)/9 = -3,89$.

Efeitos de interação: ($\alpha \times \chi$)**Ano de construção $\times$ atividades de M&R:**

Efeito médio de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>)	χ
$(ICP_{13}-ICP_{10}+ICP_{14}-ICP_{11}+ICP_{15}-ICP_{12}) = (10+10+10)/3 = 10,00$	n
$(ICP_4-ICP_1+ICP_5-ICP_2+ICP_6-ICP_3) = (5+5+10)/3 = 6,67$	s
Diferença = 3,33	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre a e b) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $3,33/2 = 1,67$.

Efeito médio de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>)	χ
$(ICP_{16}-ICP_{10}+ICP_{17}-ICP_{11}+ICP_{18}-ICP_{12}) = (10+10+10)/3 = 10,00$	n
$(ICP_7-ICP_1+ICP_8-ICP_2+ICP_9-ICP_3) = (10+10+10)/3 = 10,00$	s
Diferença = 0,00	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre a e c) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $0,00/2 = 0,00$.

Efeito médio de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>)	χ
$(ICP_{16}-ICP_{13}+ICP_{17}-ICP_{14}+ICP_{18}-ICP_{15}) = (0+0+0)/3 = 0,00$	n
$(ICP_7-ICP_4+ICP_8-ICP_5+ICP_9-ICP_6) = (5+5+0)/3 = 3,33$	s
Diferença = -3,33	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre b e c) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $-3,33/2 = -1,67$.

Efeitos de interação: ($\beta \times \chi$)**Classificação funcional $\times$ atividades de M&R:**

Efeito médio de β (entre <u>A</u> e <u>C</u>)	χ
$(ICP_{11}-ICP_{10}+ICP_{14}-ICP_{13}+ICP_{17}-ICP_{16}) = (5+5+5)/3 = 5,00$	n
$(ICP_2-ICP_1+ICP_5-ICP_4+ICP_8-ICP_7) = (5+5+5)/3 = 5,00$	s
Diferença = 0,00	

Conclusão: O efeito de interação classificação funcional (entre A e C) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $0,00/2 = 0,00$.

Efeito médio de β (entre <u>A</u> e <u>L</u>)	χ
$(ICP_{12}-ICP_{10}+ICP_{15}-ICP_{13}+ICP_{18}-ICP_{16}) = (5+5+5)/3 = 5,00$	n
$(ICP_3-ICP_1+ICP_6-ICP_4+ICP_9-ICP_7) = (5+10+5)/3 = 6,67$	s
Diferença = -1,67	

Conclusão: O efeito de interação classificação funcional (entre A e L) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $-1,67/2 = -0,83$.

Efeito médio de β (entre <u>C</u> e <u>L</u>)	χ
$(ICP_{12}-ICP_{11}+ICP_{15}-ICP_{14}+ICP_{18}-ICP_{17}) = (0+0+0)/3 = 0,00$	n
$(ICP_3-ICP_2+ICP_6-ICP_5+ICP_9-ICP_8) = (0+5+0)/3 = 1,67$	s
Diferença = -1,67	

Conclusão: O efeito de interação classificação funcional (entre C e L) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $-1,67/2 = -0,83$.

Efeitos de interação: ($\alpha \times \beta$)**Ano de construção $\times$ classificação funcional:**

Efeito médio de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>)	β (entre <u>A</u> e <u>C</u>)
$(ICP_5 - ICP_2 + ICP_{14} - ICP_{11}) = (5+10)/2 = 7,50$	C
$(ICP_4 - ICP_1 + ICP_{13} - ICP_{10}) = (5+10)/2 = 7,50$	A
Diferença = 0,00	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre a e b) $\times$ classificação funcional (entre A e C) é dado pela metade da diferença: $0,00/2 = 0,00$.

Efeito médio de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>)	β (entre <u>A</u> e <u>L</u>)
$(ICP_6 - ICP_3 + ICP_{15} - ICP_{12}) = (10+10)/2 = 10,00$	L
$(ICP_4 - ICP_1 + ICP_{13} - ICP_{10}) = (5+10)/2 = 7,50$	A
Diferença = 2,50	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre a e b) $\times$ classificação funcional (entre A e L) é dado pela metade da diferença: $2,50/2 = 1,25$.

Efeito médio de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>)	β (entre <u>C</u> e <u>L</u>)
$(ICP_6 - ICP_3 + ICP_{15} - ICP_{12}) = (10+10)/2 = 10,00$	L
$(ICP_5 - ICP_2 + ICP_{14} - ICP_{11}) = (5+10)/2 = 7,50$	C
Diferença = 2,50	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre a e b) $\times$ classificação funcional (entre C e L) é dado pela metade da diferença: $2,50/2 = 1,25$.

Efeito médio de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>)	β (entre <u>A</u> e <u>C</u>)
$(ICP_8 - ICP_2 + ICP_{17} - ICP_{11}) = (10 + 10)/2 = 10,00$	C
$(ICP_7 - ICP_1 + ICP_{16} - ICP_{10}) = (10 + 10)/2 = 10,00$	A
Diferença = 0,00	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre a e c) $\times$ classificação funcional (entre A e C) é dado pela metade da diferença: $0,00/2 = 0,00$.

Efeito Médio de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>)	β (entre <u>A</u> e <u>L</u>)
$(ICP_9 - ICP_3 + ICP_{18} - ICP_{12}) = (10 + 10)/2 = 10,00$	L
$(ICP_7 - ICP_1 + ICP_{16} - ICP_{10}) = (10 + 10)/2 = 10,00$	A
Diferença = 0,00	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre a e c) $\times$ classificação funcional (entre A e L) é dado pela metade da diferença: $0,00/2 = 0,00$.

Efeito médio de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>)	β (entre <u>C</u> e <u>L</u>)
$(ICP_9 - ICP_3 + ICP_{18} - ICP_{12}) = (10 + 10)/2 = 10,00$	L
$(ICP_8 - ICP_2 + ICP_{17} - ICP_{11}) = (10 + 10)/2 = 10,00$	C
Diferença = 0,00	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre a e c) $\times$ classificação funcional (entre A e L) é dado pela metade da diferença: $0,00/2 = 0,00$.

Efeito médio de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>)	β (entre <u>A</u> e <u>C</u>)
$(ICP_8 - ICP_5 + ICP_{17} - ICP_{14}) = (5+0)/2 = 2,50$	C
$(ICP_7 - ICP_4 + ICP_{16} - ICP_{13}) = (5+0)/2 = 2,50$	A
Diferença = 0,00	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre b e c) $\times$ classificação funcional (entre A e C) é dado pela metade da diferença: $0,00/2 = 0,00$.

Efeito médio de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>)	β (entre <u>A</u> e <u>L</u>)
$(ICP_9 - ICP_6 + ICP_{18} - ICP_{15}) = (0+0)/2 = 0,00$	L
$(ICP_7 - ICP_4 + ICP_{16} - ICP_{13}) = (5+0)/2 = 2,50$	A
Diferença = -2,50	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre b e c) $\times$ classificação funcional (entre A e L) é dado pela metade da diferença: $-2,50/2 = -1,25$.

Efeito médio de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>)	β (entre <u>C</u> e <u>L</u>)
$(ICP_9 - ICP_6 + ICP_{18} - ICP_{15}) = (0+0)/2 = 0,00$	L
$(ICP_8 - ICP_5 + ICP_{17} - ICP_{14}) = (5+0)/2 = 2,50$	C
Diferença = -2,50	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre b e c) $\times$ classificação funcional (entre C e L) é dado pela metade da diferença: $-2,50/2 = -1,25$.

Efeitos de interação: ($\alpha \times \beta \times \chi$)

Ano de construção $\times$ classificação funcional $\times$ atividades de M&R:

Efeito médio de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>) $\times \beta$ (entre <u>A</u> e <u>C</u>)	χ
$[(ICP_{14}-ICP_{13})-(ICP_{11}-ICP_{10})]/2 = (5-5)/2 = 0,00$	n
$[(ICP_5-ICP_4)-(ICP_2-ICP_1)]/2 = (5-5)/2 = 0,00$	s
Diferença = 0,00	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre a e b) $\times$ classificação funcional (entre A e C) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $0,00/2 = 0,00$.

Efeito médio de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>) $\times \beta$ (entre <u>A</u> e <u>L</u>)	χ
$[(ICP_{15}-ICP_{13})-(ICP_{12}-ICP_{10})]/2 = (5-5)/2 = 0,00$	n
$[(ICP_6-ICP_4)-(ICP_3-ICP_1)]/2 = (10-5)/2 = 2,50$	s
Diferença = -2,50	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre a e b) $\times$ classificação funcional (entre A e L) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $-2,50/2 = -1,25$.

Efeito médio de α (entre <u>a</u> e <u>b</u>) $\times \beta$ (entre <u>C</u> e <u>L</u>)	χ
$[(ICP_{15}-ICP_{14})-(ICP_{12}-ICP_{11})]/2 = (0-0)/2 = 0,00$	n
$[(ICP_6-ICP_5)-(ICP_3-ICP_2)]/2 = (5-0)/2 = 2,50$	s
Diferença = -2,50	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre a e b) $\times$ classificação funcional (entre C e L) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $-2,50/2 = -1,25$.

Efeito médio de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>) $\times$ β (entre <u>A</u> e <u>C</u>)	χ
$[(ICP_{17}-ICP_{16})-(ICP_{11}-ICP_{10})] = (5-5)/2 = 0,00$	n
$[(ICP_8-ICP_7)-(ICP_2-ICP_1)] = (5-5)/2 = 0,00$	s
Diferença = 0,00	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre a e c) $\times$ classificação funcional (entre A e C) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $0,00/2 = 0,00$.

Efeito médio de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>) $\times$ β (entre <u>A</u> e <u>L</u>)	χ
$[(ICP_{18}-ICP_{16})-(ICP_{12}-ICP_{10})] = (5-5)/2 = 0,00$	n
$[(ICP_9-ICP_7)-(ICP_3-ICP_1)] = (5-5)/2 = 0,00$	s
Diferença = 0,00	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre a e c) $\times$ classificação funcional (entre A e L) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $0,00/2 = 0,00$.

Efeito médio de α (entre <u>a</u> e <u>c</u>) $\times$ β (entre <u>C</u> e <u>L</u>)	χ
$[(ICP_{18}-ICP_{17})-(ICP_{12}-ICP_{11})] = (0-0)/2 = 0,00$	n
$[(ICP_9-ICP_8)-(ICP_3-ICP_2)] = (0-0)/2 = 0,00$	s
Diferença = 0,00	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre a e c) $\times$ classificação funcional (entre C e L) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $0,00/2 = 0,00$.

Efeito médio de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>) $\times$ β (entre <u>A</u> e <u>C</u>)	χ
$[(ICP_{17}-ICP_{16})-(ICP_{14}-ICP_{13})] = (5-5)/2 = 0,00$	n
$[(ICP_8-ICP_7)-(ICP_5-ICP_4)] = (5-5)/2 = 0,00$	s
Diferença = 0,00	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre b e c) $\times$ classificação funcional (entre A e C) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $0,00/2 = 0,00$.

Efeito médio de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>) $\times$ β (entre <u>A</u> e <u>L</u>)	χ
$[(ICP_{18}-ICP_{16})-(ICP_{15}-ICP_{13})] = (5-5)/2 = 0,00$	n
$[(ICP_9-ICP_7)-(ICP_6-ICP_4)] = (5-10)/2 = -2,50$	s
Diferença = 2,50	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre b e c) $\times$ classificação funcional (entre A e L) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $2,50/2 = 1,25$.

Efeito médio de α (entre <u>b</u> e <u>c</u>) $\times$ β (entre <u>C</u> e <u>L</u>)	χ
$[(ICP_{18}-ICP_{17})-(ICP_{15}-ICP_{14})] = (0-0)/2 = 0,00$	n
$[(ICP_9-ICP_8)-(ICP_6-ICP_5)] = (0-5)/2 = -2,50$	s
Diferença = 2,50	

Conclusão: O efeito de interação ano de construção (entre b e c) $\times$ classificação funcional (entre C e L) $\times$ atividades de M&R é dado pela metade da diferença: $2,50/2 = 1,25$.

Cálculo dos erros-padrões para os efeitos estimados:

Efeito	Valor estimado	(Valor estimado) ²
Médio de α (entre $\underline{a}$ e $\underline{b}$) $\times \beta$ (entre $\underline{A}$ e $\underline{C}$) $\times \chi$	0	0
Médio de α (entre $\underline{a}$ e $\underline{b}$) $\times \beta$ (entre $\underline{A}$ e $\underline{L}$) $\times \chi$	-1,25	1,5625
Médio de α (entre $\underline{a}$ e $\underline{b}$) $\times \beta$ (entre $\underline{C}$ e $\underline{L}$) $\times \chi$	-1,25	1,5625
Médio de α (entre $\underline{a}$ e $\underline{c}$) $\times \beta$ (entre $\underline{A}$ e $\underline{C}$) $\times \chi$	0	0
Médio de α (entre $\underline{a}$ e $\underline{c}$) $\times \beta$ (entre $\underline{A}$ e $\underline{L}$) $\times \chi$	0	0
Médio de α (entre $\underline{a}$ e $\underline{c}$) $\times \beta$ (entre $\underline{C}$ e $\underline{L}$) $\times \chi$	0	0
Médio de α (entre $\underline{b}$ e $\underline{c}$) $\times \beta$ (entre $\underline{A}$ e $\underline{C}$) $\times \chi$	0	0
Médio de α (entre $\underline{b}$ e $\underline{c}$) $\times \beta$ (entre $\underline{A}$ e $\underline{L}$) $\times \chi$	1,25	1,5625
Médio de α (entre $\underline{b}$ e $\underline{c}$) $\times \beta$ (entre $\underline{C}$ e $\underline{L}$) $\times \chi$	1,25	1,5625

Conclusão: Uma estimativa da variância (σ^2) de um efeito é dada pela média das 9 medidas: $(0 + 1,5625 + 1,5625 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1,5625 + 1,5625)/9 = 0,69$. O erro-padrão de um efeito é dado pela raiz da variância: $(0,69)^{1/2} = 0,83$.

ANEXO C

MATRIZES DE PROBABILIDADES DE TRANSIÇÃO E VETORES ESTADO DAS SEÇÕES DE ARARAQUARA-SP

Seção: 1

$$\tilde{p}(0) = (0; 0,1; 0,7; 0,2; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{0,3} & \underline{0,7} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,00; 0,06; 0,39; 0,41; 0,14; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,00; 0,04; 0,22; 0,32; 0,36; 0,07; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,00; 0,02; 0,12; 0,20; 0,40; 0,21; 0,04; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,00; 0,01; 0,07; 0,12; 0,34; 0,31; 0,12; 0,02; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,00; 0,01; 0,04; 0,07; 0,26; 0,33; 0,22; 0,07; 0,01; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,03; 0,09; 0,17; 0,23; 0,22; 0,24)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,03; 0,96)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

Seção: 2

$$\tilde{p}(0) = (0; 0,2; 0,6; 0,2; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} \underline{0,7} & \underline{0,3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{0,4} & \underline{0,6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,2} & \underline{0,8} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,00; 0,12; 0,44; 0,32; 0,12; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,00; 0,07; 0,31; 0,30; 0,22; 0,10; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,00; 0,04; 0,22; 0,25; 0,23; 0,22; 0,05; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,00; 0,03; 0,15; 0,18; 0,19; 0,29; 0,13; 0,02; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,00; 0,02; 0,10; 0,13; 0,15; 0,30; 0,21; 0,08; 0,01; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,00; 0,00; 0,01; 0,02; 0,02; 0,09; 0,17; 0,22; 0,21; 0,25)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,01; 0,03; 0,95)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

Seção: 3

$$\tilde{p}(0) = (0,1; 0,4; 0,3; 0,2; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} \underline{0,8} & \underline{0,2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{0,8} & \underline{0,2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,3} & \underline{0,7} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,08; 0,34; 0,26; 0,22; 0,10; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,06; 0,29; 0,22; 0,21; 0,14; 0,07; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,05; 0,24; 0,19; 0,20; 0,15; 0,13; 0,04; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,04; 0,20; 0,16; 0,18; 0,14; 0,17; 0,08; 0,02; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,03; 0,17; 0,14; 0,15; 0,13; 0,19; 0,13; 0,05; 0,01; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,01; 0,07; 0,06; 0,07; 0,06; 0,12; 0,15; 0,16; 0,14; 0,15)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,01; 0,01; 0,01; 0,01; 0,02; 0,03; 0,05; 0,07; 0,78)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

Seção: 4

$$\tilde{p}(0) = (0; 0,3; 0,5; 0,2; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} \underline{0,7} & \underline{0,3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,3} & \underline{0,7} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,4} & \underline{0,6} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,4} & \underline{0,6} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,00; 0,18; 0,37; 0,35; 0,10; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,00; 0,11; 0,26; 0,36; 0,21; 0,07; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,00; 0,06; 0,17; 0,31; 0,24; 0,17; 0,04; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,00; 0,04; 0,11; 0,24; 0,23; 0,24; 0,12; 0,03; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,00; 0,02; 0,07; 0,18; 0,19; 0,25; 0,19; 0,08; 0,01; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,00; 0,00; 0,01; 0,02; 0,03; 0,08; 0,14; 0,23; 0,23; 0,26)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,03; 0,96)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

Seção: 5

$$\tilde{p}(0) = (0,1; 0,6; 0,3; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} \underline{0,7} & \underline{0,3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{0,7} & \underline{0,3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{0,4} & \underline{0,6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,3} & \underline{0,7} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,07; 0,45; 0,36; 0,12; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,05; 0,34; 0,35; 0,19; 0,07; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,03; 0,25; 0,31; 0,22; 0,14; 0,05; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,02; 0,19; 0,26; 0,21; 0,17; 0,12; 0,03; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,02; 0,14; 0,21; 0,19; 0,18; 0,18; 0,07; 0,01; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,00; 0,03; 0,06; 0,06; 0,08; 0,17; 0,20; 0,18; 0,13; 0,09)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,03; 0,05; 0,08; 0,82)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

Seção: 6

$$\tilde{p}(0) = (0,1; 0,7; 0,2; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} \underline{0,8} & \underline{0,2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{0,8} & \underline{0,2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{0,7} & \underline{0,3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,4} & \underline{0,6} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,4} & \underline{0,6} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,08; 0,58; 0,28; 0,06; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,06; 0,48; 0,31; 0,12; 0,02; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,05; 0,40; 0,31; 0,17; 0,06; 0,01; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,04; 0,33; 0,30; 0,19; 0,09; 0,04; 0,01; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,03; 0,27; 0,28; 0,21; 0,11; 0,07; 0,03; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,01; 0,10; 0,14; 0,15; 0,12; 0,13; 0,14; 0,11; 0,06; 0,04)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,01; 0,02; 0,03; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08; 0,11; 0,62)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,99)$$

Seção: 7

$$\tilde{p}(0) = (0,2; 0,5; 0,3; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,4 & 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,4 & 0,6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,14; 0,41; 0,33; 0,12; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,10; 0,33; 0,32; 0,19; 0,06; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,07; 0,26; 0,29; 0,22; 0,12; 0,04; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,05; 0,20; 0,25; 0,23; 0,16; 0,09; 0,02; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,03; 0,16; 0,21; 0,22; 0,18; 0,13; 0,06; 0,01; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,01; 0,04; 0,07; 0,09; 0,11; 0,14; 0,19; 0,17; 0,11; 0,08)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,01; 0,02; 0,03; 0,06; 0,09; 0,79)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

Seção: 8

$$\tilde{p}(0) = (0,3; 0,6; 0,1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} 0,8 & 0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,8 & 0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,24; 0,54; 0,19; 0,31; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,19; 0,48; 0,24; 0,08; 0,01; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,15; 0,42; 0,26; 0,12; 0,04; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,12; 0,37; 0,27; 0,15; 0,07; 0,02; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,10; 0,32; 0,26; 0,17; 0,10; 0,04; 0,01; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,03; 0,14; 0,16; 0,16; 0,17; 0,13; 0,10; 0,06; 0,03; 0,02)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,02; 0,03; 0,04; 0,06; 0,07; 0,09; 0,10; 0,11; 0,46)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,01; 0,98)$$

Seção: 9

$$\tilde{p}(0) = (0,4; 0,6; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} \underline{0,9} & \underline{0,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{0,9} & \underline{0,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{0,8} & \underline{0,2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{0,7} & \underline{0,3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,36; 0,58; 0,06; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,32; 0,56; 0,11; 0,01; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,29; 0,53; 0,14; 0,03; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,26; 0,51; 0,17; 0,05; 0,01; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,24; 0,49; 0,18; 0,07; 0,02; 0,01; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,14; 0,36; 0,20; 0,12; 0,08; 0,04; 0,03; 0,01; 0,01; 0,00)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,05; 0,18; 0,13; 0,10; 0,09; 0,07; 0,07; 0,07; 0,07; 0,17)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,01; 0,04; 0,03; 0,03; 0,02; 0,02; 0,03; 0,03; 0,04; 0,76)$$

Seção: 10

$$\tilde{p}(0) = (0; 0; 0,3; 0,5; 0,2; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} \underline{0,4} & \underline{0,6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{0,4} & \underline{0,6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{0,2} & \underline{0,8} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{0} & \underline{1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0} & \underline{1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0} & \underline{1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0} & \underline{1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0} & \underline{1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,00; 0,00; 0,06; 0,24; 0,50; 0,20; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,00; 0,00; 0,01; 0,05; 0,24; 0,50; 0,20; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,05; 0,24; 0,50; 0,20; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,05; 0,24; 0,50; 0,20; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,05; 0,24; 0,60; 0,10)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,04; 0,96)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

Seção: 11

$$\tilde{p}(0) = (0; 0,1; 0,5; 0,4; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{0,4} & \underline{0,6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{0,2} & \underline{0,8} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,2} & \underline{0,8} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{1} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,00; 0,05; 0,25; 0,38; 0,32; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,00; 0,03; 0,13; 0,23; 0,37; 0,26; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,00; 0,01; 0,06; 0,12; 0,25; 0,29; 0,26; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,00; 0,01; 0,03; 0,06; 0,15; 0,20; 0,29; 0,26; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,00; 0,00; 0,02; 0,03; 0,08; 0,12; 0,20; 0,29; 0,26; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,02; 0,15; 0,82)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

Seção: 12

$$\tilde{p}(0) = (0; 0,1; 0,7; 0,2; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{0,3} & \underline{0,7} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0} & \underline{1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0} & \underline{1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{1} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,00; 0,06; 0,39; 0,41; 0,14; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,00; 0,04; 0,22; 0,32; 0,29; 0,14; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,00; 0,02; 0,12; 0,20; 0,22; 0,29; 0,14; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,00; 0,01; 0,07; 0,12; 0,14; 0,22; 0,36; 0,07; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,00; 0,01; 0,04; 0,07; 0,09; 0,14; 0,40; 0,21; 0,04; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,01; 0,08; 0,18; 0,26; 0,46)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,99)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

Seção: 13

$$\tilde{p}(0) = (0; 0,1; 0,5; 0,3; 0,1; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,4} & \underline{0,6} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,4} & \underline{0,6} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,00; 0,06; 0,29; 0,40; 0,19; 0,06; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,00; 0,04; 0,17; 0,35; 0,28; 0,14; 0,04; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,00; 0,02; 0,10; 0,26; 0,28; 0,22; 0,10; 0,02; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,00; 0,01; 0,06; 0,18; 0,24; 0,26; 0,18; 0,06; 0,01; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,00; 0,01; 0,03; 0,12; 0,19; 0,25; 0,25; 0,12; 0,03; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,03; 0,06; 0,14; 0,21; 0,22; 0,32)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,02; 0,97)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

Seção: 14

$$\tilde{p}(0) = (0; 0,5; 0,5; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,00; 0,30; 0,50; 0,20; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,00; 0,18; 0,42; 0,30; 0,10; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,00; 0,11; 0,32; 0,32; 0,20; 0,05; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,00; 0,06; 0,24; 0,29; 0,26; 0,13; 0,03; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,00; 0,04; 0,17; 0,24; 0,27; 0,19; 0,08; 0,01; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,00; 0,00; 0,02; 0,05; 0,11; 0,17; 0,22; 0,20; 0,14; 0,09)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,02; 0,04; 0,07; 0,86)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

Seção: 15

$$\tilde{p}(0) = (0,1; 0,6; 0,3; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} \underline{0,7} & \underline{0,3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,07; 0,39; 0,42; 0,12; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,05; 0,26; 0,41; 0,24; 0,05; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,03; 0,17; 0,35; 0,31; 0,12; 0,02; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,02; 0,11; 0,28; 0,32; 0,18; 0,07; 0,01; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,02; 0,07; 0,21; 0,30; 0,22; 0,13; 0,04; 0,01; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,00; 0,01; 0,04; 0,11; 0,14; 0,19; 0,20; 0,16; 0,10; 0,06)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,02; 0,03; 0,06; 0,09; 0,78)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

Seção: 16

$$\tilde{p}(0) = (0; 0,1; 0,8; 0,1; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,6} & \underline{0,4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{0,5} & \underline{0,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,00; 0,06; 0,52; 0,38; 0,04; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,00; 0,04; 0,34; 0,44; 0,18; 0,02; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,00; 0,02; 0,22; 0,40; 0,28; 0,08; 0,01; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,00; 0,01; 0,14; 0,32; 0,33; 0,15; 0,04; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,00; 0,01; 0,09; 0,25; 0,33; 0,21; 0,10; 0,02; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,00; 0,00; 0,01; 0,04; 0,12; 0,16; 0,20; 0,20; 0,15; 0,12)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,01; 0,02; 0,04; 0,07; 0,87)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

Seção: 17

$$\tilde{p}(0) = (0,1; 0,7; 0,2; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,07; 0,52; 0,35; 0,06; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,05; 0,39; 0,40; 0,14; 0,02; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,03; 0,28; 0,40; 0,20; 0,07; 0,01; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,02; 0,21; 0,36; 0,24; 0,12; 0,03; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,02; 0,15; 0,32; 0,25; 0,17; 0,07; 0,02; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,00; 0,03; 0,11; 0,15; 0,20; 0,20; 0,14; 0,09; 0,05; 0,02)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,00; 0,01; 0,01; 0,03; 0,06; 0,07; 0,10; 0,12; 0,60)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 1,00)$$

Seção: 18

$$\tilde{p}(0) = (0,1; 0,8; 0,1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

$$P = \begin{bmatrix} 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,7 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0,4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{p}(1) = (0,07; 0,59; 0,31; 0,03; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(2) = (0,05; 0,43; 0,39; 0,11; 0,01; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(3) = (0,03; 0,32; 0,41; 0,20; 0,04; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(4) = (0,02; 0,23; 0,38; 0,26; 0,08; 0,02; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(5) = (0,02; 0,17; 0,34; 0,30; 0,13; 0,04; 0,01; 0,00; 0,00; 0,00)$$

$$\tilde{p}(10) = (0,00; 0,03; 0,12; 0,23; 0,20; 0,18; 0,11; 0,07; 0,03; 0,01)$$

$$\tilde{p}(20) = (0,00; 0,00; 0,01; 0,03; 0,04; 0,08; 0,08; 0,11; 0,13; 0,52)$$

$$\tilde{p}(40) = (0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,00; 0,99)$$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials - *Guide for Design of Pavement Structures* - 1986.

ACHCAR, J.A. - *Planejamento de Experimentos em Engenharia e Indústria* - Apostila de Ensino - Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos da USP - São Carlos - 1995.

BALBO, J.T. - *Pavimentos Asfálticos: Patologias e Manutenção* - Editora Plêiade - São Paulo - 1997.

BOX, G.E.P., HUNTER, W.G. e HUNTER, J.S. - *Statistics for Experimenters - An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building* - John Wiley & Sons - 1978.

BUTT, A.A. - *Application of Markov Process to Pavement Management Systems at the Network Level* - Ph.D. Thesis - University of Illinois - 1991.

CAREY, JR., W.N. e IRICK, P.E. - *The Pavement Serviceability - Performance Concept* - HRB Bulletin 250 - 1960.

DARTER, M.I. - *Requirements for Reliable Predictive Pavement Models* - Transportation Research Record, 766 - TRB - 1980.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - *Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos* - PRO 08-94 - Ministério dos Transportes - Rio de Janeiro - 1994.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - *Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos* - PRO 07-78 - Ministério dos Transportes - Rio de Janeiro - 1978.

DNER - 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* - ES 128-83 - Ministério dos Transportes - Rio de Janeiro - 1983.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - *Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos* - PRO 159-85 - Ministério dos Transportes - Rio de Janeiro - 1985.

DOMINGUES, F.A.A. - *MID - Manual de Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos* - São Paulo - 1993.

FERNANDES JR., J.L.; ODA, S. e ZERBINI, L.F. - *Defeitos e Atividades de Manutenção e Reabilitação em Pavimentos Asfálticos* - Apostila de Ensino - Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da USP - São Carlos - 1999.

FERNANDO, E.G. - *Review and Evaluation of Alternative Approaches to Formulating a Prioritization Index* - Technical Memorandum 307-14 - Center for Transportation Research - The University of Texas at Austin - 1982.

- GÁSPÁR, JR., L.** - *Compilation of First Hungarian Network-Level Pavement Management System* - Transportation Research Record, 1455 - TRB - pp. 22-30 - 1994.
- GEIPOT** - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes - *Pesquisa Sobre o Interrelacionamento entre Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias* - Relatório Final - Volume 7 - Ministério de Transportes - Brasília - DF - 1981.
- GOPINATH, D.; BEN-AKIVA, M. e RAMASWAMY, R.** - *Modeling Performance of Highway Pavements* - Transportation Research Record, 1449 - TRB - pp. 1-7 - 1994.
- HAAS, R.; HUDSON, W.R. e ZANIEWSKI, J.** - *Modern Pavement Management* - Krieger Publishing Co. - Malamar - Florida - 1994.
- HARPER, W.V. e MAJIDZADEH, K** - *Use of Expert Opinion in Two Pavement Management Systems* - Transportation Research Record, 1311 - TRB - pp. 242-247 - 1991.
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - *Contagem da População de 1996* - <http://www.ibge.gov.br> - Última atualização em 1999.
- JACKSON, N. e MAHONEY, J.** - *Washington State Pavement Management System* - FHWA Text for Advanced Course on Pavement Management - 1990.
- KARAN, M.A.; CHRISTISON, T.S.; CHEETHAM, A. e BERDAHL, G.** - *Development and Implementation of Alberta's Pavement Information and Needs System* - Transportation Research Record, 938 - TRB - 1983.

- LYTTON, R.L.** - *Concepts of Pavement Performance Prediction and Modeling* - Proc., Vol. 2 - Second North American Conference on Managing Pavements - Toronto - 1987.
- MAHONEY, J.** - *Introduction to Prediction Models and Performance Curves* - FHWA Text for Advanced Course on Pavement Management - 1990.
- McLEAN, R.A. e ANDERSON, V.L.** - *Applied Factorial and Fractional Designs* - Marcel Dekker, Inc. - 1984.
- QUEIRÓZ, C.A.V.** - *A Mechanistic Analysis of Asphalt Pavement Performance in Brazil* - Journal of Association of Asphalt Paving Technology - Vol. 52 - 1983.
- SAITO, M. e SINHA, K.C.** - *Delphi Study on Bridge Condition Rating and Effects of Improvements* - Journal of Transportation Engineering, 117(3): 320-334 - 1991.
- SCHERER, W.T. e GLAGOLA, D.M.** - *Markovian Models for Bridge Maintenance Management* - Journal of Transportation Engineering, 120(1): 37-51 - 1994.
- SHAHIN, M.Y.** - *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots* - Chapman & Hall - New York, London - 1994.
- SHAHIN, M.Y. e KOHN, S.D.** - *Overview of the PAVER Pavement Management System* - Technical Report M-310 - Construction Engineering Research Laboratory - USACE - 1982.

SHRP - The Strategic Highway Research Program - *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies* - National Academy of Science - Washington, D.C. - 1989.

SILVA, N.N. - *Amostragem Probabilística: Um Curso Introductório* - Editora da Universidade de São Paulo - São Paulo - 1998.

WANG, J.T. e ZANIEWSKI, J.P. - *Revisions for the Arizona Department of Transportation Pavement Management System* - Annual Meeting of the Transportation Research Board - 1993.

WANG, K.C.P.; ZANIEWSKI, J.; WAY, G. - *Probabilistic Behavior of Pavements* - Journal of Transportation Engineering, 120(3): 358-375 - 1994.

WHITE, D.J. - *Real Applications of Markov Decision Processes* - Interfaces 15 - pp. 73-83 - 1985.