

S 11
3/10/97



**1º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS
DE BAIXO VOLUME DE TRAFEGO**

**5 A 10
DE
OUTUBRO
DE 1997**

ABPV/ANPAOR

RIO DE JANEIRO BRASIL HOTEL LE MERIDIEN

Nº USP: 3.12.00.00-5



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

Rua Miguel Couto, N.º 105 - Cj. 1612
20070-030 - Rio de Janeiro, RJ
Tel.:(021)263-5794 - Fax.:(021)233-0709 - e-mail:abpv@ax.ibase.org.br

SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS PARA OS DISTRITOS RODOVIÁRIOS

F 3632
José Leomar Fernandes Júnior⁽¹⁾ 395900
Sandra Ap. Margarido Bertollo⁽²⁾

(1) Professor Doutor
(2) Doutoranda

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Transportes
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465
13560-250 - São Carlos - SP
Fone: (016) 274-9254 - ramal 3081 - Fax: (016) 274-9255
leomar@sc.usp.br

RESUMO

Os organismos rodoviários estaduais têm iniciado a implementação de seus Sistemas de Gerência de Pavimentos de uma maneira centralizada, tendo como ponto de partida, geralmente, o programa HDM-III, desenvolvido pelo Banco Mundial. Na maioria das vezes, os distritos rodoviários (ou regionais) têm pequena participação, quase sempre restrita ao fornecimento de informações para o banco de dados central. Posteriormente, os engenheiros dos distritos podem vir a saber das decisões tomadas a respeito da malha sob sua jurisdição quando alguma equipe de manutenção e reabilitação já estiver para iniciar os serviços. Independentemente das limitações apresentadas pelos sistemas de gerência disponíveis, particularmente do mais utilizado no Brasil (HDM-III), a implementação da gerência de pavimentos de uma forma centralizada pode não aproveitar a experiência e conhecimentos acumulados pelos engenheiros dos distritos, que são de fato os técnicos que conhecem pormenorizadamente os problemas locais. Neste trabalho propõe-se a utilização de sistemas de gerência simplificados, em paralelo com a implementação centralizada, com o intuito de aumentar a eficiência do processo mediante o envolvimento direto das equipes dos distritos e, principalmente, pela possibilidade de calibração dos modelos do programa geral para as condições locais, particularmente das rodovias de baixo volume de tráfego. Neste sentido, discutem-se algumas particularidades dos sistemas de gerência de pavimentos, especialmente sobre o inventário, a avaliação da condição dos pavimentos e os métodos de priorização passíveis de serem utilizados nos distritos rodoviários. Apresentam-se, também, dois temas relacionados às perspectivas futuras da gerência de pavimentos e que podem ser de grande utilidade à gerência em nível de distrito rodoviário: a aplicação de técnicas estocásticas para o desenvolvimento de modelos de desempenho e a compatibilização de sistemas de gerência da infra-estrutura rodoviária mediante a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

0935357

SYSNO	0935357
PROD	002844
ACERVO EESC	

SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS PARA OS DISTRITOS RODOVIÁRIOS

José Leomar Fernandes Júnior⁽¹⁾
Sandra Ap. Margarido Bertollo⁽²⁾

(1) Professor Doutor

(2) Doutoranda

1 - INTRODUÇÃO

Os recursos para manutenção e reabilitação de pavimentos quase sempre são inferiores às necessidades. Devem, portanto, ser utilizados da maneira mais eficiente possível. Um sistema de gerência de pavimentos (SGP) é a ferramenta que pode ajudar os organismos rodoviários na melhor utilização dos recursos.

Conforme apresentado por HAAS et al. (1994), um *sistema de gerência de pavimentos* consiste de um elenco de atividades coordenadas, relacionadas com o planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa de pavimentos, cujo objetivo principal é utilizar informações confiáveis e critérios de decisão para produzir um programa de construção, manutenção e reabilitação de pavimentos que dê o máximo retorno possível para os recursos disponíveis. E, para atingir seu objetivo, um sistema de gerência de pavimentos deve ser capaz de comparar, priorizar e alocar os recursos de seu programa de manutenção e reabilitação entre todas as seções da rede viária.

No Brasil, os administradores públicos têm enfrentado inúmeros problemas na difícil tarefa de gerenciar a infra-estrutura viária em razão da crônica falta de recursos por que passa a maioria dos organismos rodoviários. Particularmente, a ausência de uma política para a gerência formal do sistema viário (do qual os pavimentos representam parcela significativa) tem contribuído para o desperdício de recursos financeiros, de equipamentos e de mão-de-obra.

A busca de informações é sempre um trabalho difícil, principalmente considerando-se a ausência de banco de dados e a falta de sistematização da coleta de informações básicas a respeito da malha viária (dimensões, tipologias de pavimento, histórico das intervenções nos pavimentos, hierarquia viária, contagem de tráfego, pesagem por eixo, classificação por tipo de veículo e dados de uso do solo). A inexistência de um banco de dados com informações sobre projeto, construção e histórico de intervenções tem motivado a aplicação de técnicas estocásticas para o desenvolvimento de modelos de desempenho. Têm sido utilizados, também, os Sistemas de Informação Geográfica, particularmente para a compatibilização dos sistemas de gerência da infra-estrutura rodoviária (pavimentos, pontes, manutenção, drenagem, sinalização, acidentes, congestionamentos, transporte público etc.).

Este trabalho apresenta os conceitos básicos da gerência de pavimentos e propõe a utilização de sistemas de gerência simplificados para os distritos rodoviários, de forma complementar aos sistemas centralizados implementados em nível estadual. Discute os dados necessários para o inventário e as formas de quantificação da condição do pavimento, particularmente o uso de índices combinados (por exemplo o Índice de Condição dos Pavimentos, ICP) para a priorização e seleção de trechos e de estratégias de manutenção e reabilitação. Analisa, ao final, dois temas que podem ser de grande utilidade para se alcançar os objetivos propostos: uso de modelos estocásticos para previsão de desempenho e a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

2 - OS SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS: EXTENSÃO E NÍVEIS DE DECISÃO

2.1 - Introdução

Um sistema consiste de um conjunto de componentes que interagem entre si e são afetados por fatores externos. Um sistema de gerência de pavimentos, particularmente, apresenta como componentes principais o planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa, conforme apresentado na Figura 1, e tem como fatores externos as dotações orçamentárias e as políticas administrativas.

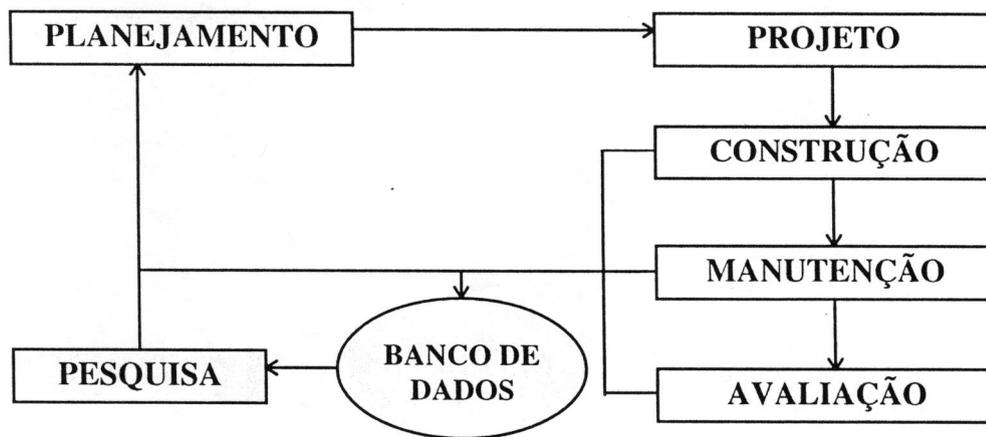


FIGURA 1 - Fluxograma dos componentes de um sistema de gerência de pavimentos (adaptada de HAAS et al., 1994).

Um sistema de gerência de pavimentos tem por objetivo a obtenção do melhor retorno possível para os recursos investidos, provendo pavimentos seguros, confortáveis e econômicos aos usuários. Possibilita, simultaneamente, a melhoria das condições dos pavimentos e a redução dos custos de manutenção e reabilitação e de operação dos veículos.

Mediante utilização de um sistema de gerência de pavimentos, os organismos rodoviários ou prefeituras municipais podem avaliar a aplicação de várias estratégias de manutenção e reabilitação, simulando seus efeitos sobre a condição dos pavimentos e os custos associados (de construção, de manutenção e reabilitação e de operação dos veículos). Podem, dessa forma, escolher a melhor estratégia (“o que fazer”), selecionar a atividade mais indicada (“como fazer”), indicar as seções prioritárias (“onde fazer”) e definir a melhor época para a execução dos serviços de manutenção (“quando fazer”).

Convencionalmente, o processo de tomada de decisão em um sistema de gerência de pavimentos tem sido dividido em dois níveis: *rede* e *projeto*. O primeiro inclui as atividades de planejamento, programação e orçamento, enquanto que as decisões em nível de projeto envolvem as atividades de dimensionamento, construção e manutenção.

A Figura 2 mostra os níveis de decisão em um sistema de gerência de pavimentos de acordo com o detalhe de informação e a complexidade do modelo. A tomada de decisão em nível de projeto lida com questões técnicas e como tal, requer informações detalhadas de seções específicas do pavimento.

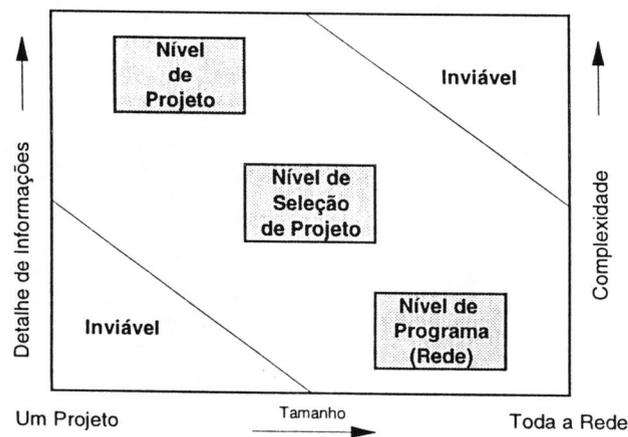


FIGURA 2 - Níveis de tomada de decisão em um sistema de gerência de pavimentos (HAAS et al., 1994).

As decisões em nível de rede podem, ainda, ser divididas em:

- nível de seleção de projeto: processo de priorização, envolvendo um ou mais grupos de projetos;
- nível de programa: processo orçamentário global, envolvendo a alocação de recursos para toda a rede.

Em nível de seleção de projeto, dois modelos podem ser utilizados:

- modelos de priorização: selecionam projetos para manutenção mediante um critério classificatório, baseado, dentre outros fatores, em um índice da condição de cada segmento;
- modelos de otimização: maximizam (ou minimizam) uma função objetivo, geralmente o custo total, submetida a uma série de restrições.

A sofisticação na metodologia de alocação de recursos incorporada ao sistema de gerência de pavimentos depende das necessidades de cada agência, podendo variar de simples árvores de decisão até programas matemáticos estocásticos ou determinísticos. Embora os princípios da gerência de pavimentos sejam os mesmos para todos os organismos rodoviários, os sistemas de gerência de pavimentos para rodovias com baixo volume de tráfego podem utilizar a técnica de *priorização* para a seleção de projetos e não a *otimização* (utilizada, por exemplo, no programa de gerência de pavimentos HDM-III).

Os sistemas de gerência de pavimentos para rodovias com baixo volume de tráfego poderiam utilizar apenas os dados realmente necessários, permitir a adaptação dos modelos de desempenho às formas de deterioração que efetivamente condicionam as atividades de manutenção e reabilitação e ser amigável aos usuários, inclusive com utilização de interface gráfica.

As etapas do desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos menos sofisticado, apresentadas na Figura 3, envolvem:

- inventário;
- avaliação da condição dos pavimentos;
- hierarquização dos projetos;
- programação das atividades de manutenção e reabilitação (M & R), com base nos modelos de desempenho e na disponibilidade orçamentária;
- implementação do sistema de gerência e alimentação do banco de dados.

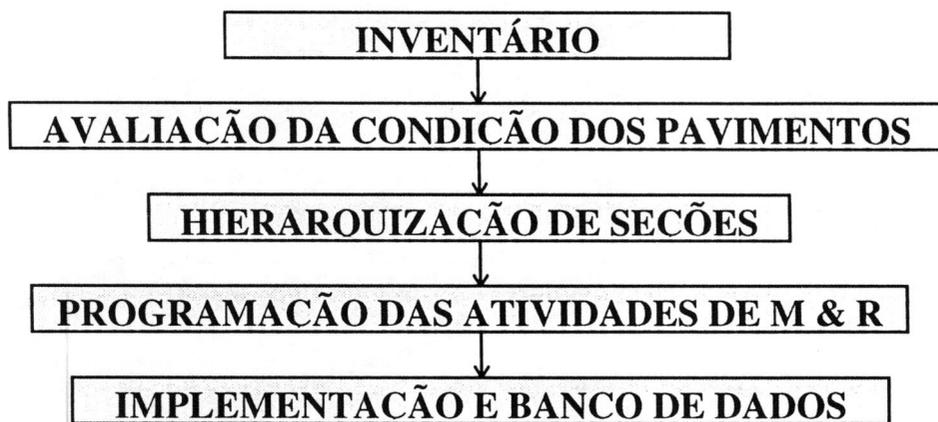


FIGURA 3 - Etapas do desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos simplificado.

2.2 - Inventário

O inventário é o processo de coleta e organização dos dados essenciais para a implementação de um sistema de gerência de pavimentos. Os passos básicos desse processo incluem a definição das seções de pavimento, envolvendo descrição e referência, a seleção das variáveis ou dados que deverão constar do inventário e a reunião e arquivamento das informações em um banco de dados.

2.2.1 - Definição dos Limites da Seção

O primeiro passo de um inventário consiste na divisão da rede viária em segmentos ou seções. O comprimento da seção determina o volume de dados a ser coletado. Normalmente as seções são definidas em função dos fatores que influenciam a deterioração dos pavimentos, tais como: mudança no número de faixas de tráfego; mudança do tipo de pavimento; mudança abrupta de volume de tráfego; mudança da estrutura do pavimento (espessuras, materiais); mudança de características do subleito.

2.2.2 - Informações Essenciais

Ao selecionar as variáveis que irão constar do inventário e o nível de detalhamento desejado, deve-se levar em consideração os custos de coleta e manipulação dos dados. Algumas grandes agências utilizam inventários extensos e detalhados enquanto outras operam com um número mínimo de informações. O inventário da rede pavimentada deve conter os seguintes dados:

- descrição e identificação das seções: código (classe funcional e administrativa), marcos de início e fim da seção, tipo de pavimento;
- características geométricas: comprimento, largura, número de faixas, número de recapeamentos, espessuras e materiais das camadas;
- 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;
- tráfego: capacidade da via, tráfego diário médio (VDM), taxa de crescimento, porcentagem de caminhões.

INVENTÁRIO DA REDE PAVIMENTADA	
TÉCNICOS: _____	DATA: _____
IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO	
Código (classe, número): _____	
Nome: _____	
Marco de Início da Seção: _____	
Marco de Fim da Seção: _____	
Tipo de Pavimento (Flexível ou Rígido): _____	
GEOMETRIA DA SEÇÃO	
Comprimento (m): _____	
Largura Total (m): _____	
Número de Faixas: _____	
Espessura e Materiais das Camadas: _____	
HISTÓRICO DA SEÇÃO	
Ano de Construção: _____	
Ano da Última Atividade de Reabilitação: _____	
TRÁFEGO	
Tráfego Diário Médio: _____	
Taxa de Crescimento do Tráfego (%): _____	
Porcentagem de Caminhões: _____	

FIGURA 4 - Formulário para coleta de dados do inventário.

2.2.3 - Coleta dos Dados

Um dos problemas mais frequentes encontrados na implementação de um sistema de gerência de pavimentos é a falta de um completo inventário viário. O tempo gasto na verificação das informações tais como nome, comprimento, largura e localização das seções não é pequeno, embora o trabalho de coleta das informações contidas no inventário seja necessário somente quando da implementação do sistema de gerência de pavimentos. Nos anos seguintes serão coletadas apenas as informações referentes à deterioração da superfície.

Geralmente, a maioria das informações requeridas no inventário da rede pavimentada não está disponível devido a inexistência de registros históricos. Nesses casos, deve-se contar com a memória dos funcionários mais antigos para se obter uma estimativa das datas de construção e manutenção dos pavimentos.

Na inexistência ou impossibilidade de obtenção dos históricos de construção, podem ser executados furos de sondagem para que sejam realizadas medidas das espessuras das camadas do pavimento e descrição expedita dos materiais constituintes. Deve-se destacar que o conhecimento dos materiais constituintes das camadas e respectivas espessuras é importante para a tomada de decisão em nível de projeto.

2.3 - Avaliação da Condição dos Pavimentos

As formas de avaliação dos pavimentos compreendem:

a) *Avaliação da irregularidade superficial*: o desempenho do pavimento, ou seja, sua capacidade de servir ao tráfego com conforto, segurança e economia, está intimamente relacionado com a irregularidade longitudinal. A irregularidade longitudinal pode ser quantificada por perfilômetros, perfilógrafos e equipamentos do tipo "resposta", como por exemplo o integrador de irregularidade IPR/USP;

b) *Ensaio estruturais*: podem ser destrutivos, mediante a avaliação da capacidade de suporte de amostras coletadas e *in situ*, ou não-destrutivos, envolvendo a medida de deflexões superficiais causadas por um carregamento conhecido. Para a avaliação estrutural não-destrutiva têm sido utilizados a viga Benkelman e os defletômetros de impacto tipo FWD;

c) *Atrito superficial*: a avaliação do atrito superficial pneu-pavimento, relacionada à segurança, pode ser obtida através de equipamentos do tipo Mu-Meter ou do Pêndulo Britânico;

d) *Levantamento dos defeitos*: envolve a inspeção visual e a identificação dos tipos de defeitos mais significativos e a medida e avaliação da extensão e severidade de cada defeito.

A avaliação estrutural de um pavimento denota sua adequação ou capacidade de resistir à deterioração provocada pela passagem das cargas do tráfego. No caso dos pavimentos com baixo volume de tráfego, a avaliação estrutural, com equipamentos para medida de deflexão superficial, é útil apenas para análises detalhadas, em nível de projeto, de seções priorizadas e recomendadas para estudos de reforço ou reconstrução, pois quando usada para tomada de decisão em nível de rede acarreta grande acréscimo nos custos.

Medidas de resistência ao atrito superficial podem fornecer um indicador das características de segurança da superfície. No entanto, o quesito segurança tem merecido pouca atenção dos administradores e pesquisadores brasileiros (MOTTA, 1995).

Portanto, considerando-se a gerência em nível de rede, os pavimentos com baixo volume de tráfego podem ser avaliados apenas por levantamento de defeitos no campo, mediante inspeção visual. O levantamento de campo pode ser realizado através de avaliação de dentro de veículo trafegando a baixa velocidade (20 a 30 km/h), com cobertura de toda a rede (mas com obtenção de dados de qualidade inferior), ou mediante caminhamento em seções selecionadas por amostragem. O tamanho da amostra depende da variabilidade dos defeitos, da precisão desejada, do tempo disponível e dos custos envolvidos, mas geralmente varia de 10 a 25% da rede (HAAS et al., 1994). A amostragem pode ser aleatória, conforme recomendado pela teoria estatística, ou em intervalos pré-determinados, conforme ocorre em alguns organismos rodoviários estrangeiros.

2.3.1 - Levantamento dos Defeitos no Campo

O aparecimento de defeitos nos pavimentos não deve ser encarado como algo alarmante, a menos que eles ocorram precocemente. Porém, o reconhecimento do tipo de defeito, a quantificação de sua *extensão* e identificação do nível de *severidade* (definidas, respectivamente, como a frequência de ocorrência ou quantidade de superfície de rolamento sujeita a um determinado tipo de defeito e o grau de deterioração associado aos vários tipos de defeitos, normalmente classificados em três níveis: baixo, médio e alto) e a determinação das causas dos defeitos são de vital importância para seleção das estratégias de intervenção e definição das atividades de manutenção e reabilitação.

Consideram-se as formas de deterioração utilizadas nos estudos sobre o desempenho de pavimentos a longo prazo (LTPP) do programa estratégico de pesquisa rodoviária (SHRP), desenvolvido por mais de vinte países, sob a liderança dos Estados Unidos. O Manual de Identificação de Defeitos dos Pavimentos considera 15 tipos de defeitos em pavimentos flexíveis, identificando-os através de fotos e figuras. O Manual oferece, para cada tipo de defeito, a sua descrição, o seu nível de severidade (fotos) e o método para sua medição (SHRP, 1993).

Existem outros manuais que são importantes como complemento do Manual de Identificação de Defeitos dos Pavimentos do Programa SHRP:

- *Catálogo dos Defeitos dos Revestimentos dos Pavimentos* (ARB, 1978): considera 64 tipos de defeitos (34 para pavimentos flexíveis), oferecendo, para cada um deles, a sua descrição e possíveis causas;
- *AASHTO - Apêndice K: Defeitos Típicos* (AASHTO, 1986): considera 17 tipos de defeitos (14 coincidentes com o SHRP), oferecendo, para cada um deles, a sua descrição, níveis de severidade e métodos de medição;
- *Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos* (DOMINGUES, 1993): considera 24 tipos de defeitos, oferecendo, para cada um deles, a sua descrição, mecanismo de ocorrência, localização, classe (funcional/estrutural), níveis de severidade (fotos) e métodos de medição.

Recomenda-se a adoção do manual de levantamento de campo utilizado no Programa SHRP em virtude da necessidade de uniformização da coleta de dados e, principalmente, do compromisso dos países envolvidos com o Programa SHRP para o acompanhamento do desempenho das seções ao longo do tempo. Os manuais publicados em língua portuguesa (ARB, 1978; DOMINGUES, 1993) podem ser utilizados, mas não se deve esquecer que eles também foram elaborados a partir das experiências francesa e americana e que apresentam limitações e deficiências eliminadas nas diversas revisões por que passou o Manual do Programa SHRP.

2.3.2 - Índices de Defeitos Combinados

Os índices de defeitos combinados podem ser determinados através de avaliações subjetivas (feitas por painéis de avaliadores) ou calculados a partir de informações sobre a extensão e severidade de diferentes formas de deterioração dos pavimentos. A condição do pavimento pode ser quantificada pelo Índice de Condição do Pavimento (ICP), que varia de 0 a 100, onde 100 representa uma excelente condição do pavimento.

Os índices de defeitos combinados são calculados através da composição das ocorrências de vários tipos de defeito. Uma vez que certos defeitos influenciam mais que outros para a perda de serventia do pavimento, cada nível de severidade de um determinado defeito deve ser associado a um fator de ponderação, sendo que os fatores de ponderação também devem ser ajustados para as condições operacionais e ambientais do local onde serão utilizados.

Quando o ICP é calculado, pode-se utilizar a expressão:

$$ICP = 100 - \sum D_{ij} \times f_{ij} \quad (1)$$

onde D_{ij} e f_{ij} são, respectivamente, extensão e fator de ponderação do defeito i com nível de severidade j .

A quantificação da qualidade de um pavimento por um índice combinado (como por exemplo, o ICP) pode servir à gerência tanto para a hierarquização de trechos e a definição de estratégias de manutenção e reabilitação (ICP de cada seção) como para a previsão orçamentária e alocação de recursos (ICP médio).

2.4 - Priorização

Conforme apresentado por HAAS et al. (1994), as prioridades em gerência de pavimentos podem ser determinadas por vários métodos, que vão da simples hierarquização subjetiva até a otimização baseada em modelos de programação matemática, passando pelo uso de índices de priorização calculados em função de fatores que condicionam o desempenho dos pavimentos e os custos associados.

Os critérios exclusivamente subjetivos eliminam muitas das vantagens que se poderia obter com um sistema de gerência. Por outro lado, as técnicas de otimização são muito complexas e, muitas vezes, não se dispõem de dados para alimentar os modelos. Portanto, a melhor alternativa é a utilização de índices ou matrizes de priorização, desenvolvidas, muitas vezes, com base na opinião de especialistas, que selecionam os fatores intervenientes e os níveis correspondentes.

Um Índice de Prioridade (IP), apresentado por TAVAKOLI et al. (1992), pode ser calculado pela expressão:

$$IP = \frac{ICP}{FT \times CF \times FR} \quad (2)$$

onde:

- ICP = índice de condição do pavimento (maior prioridade quanto pior a condição do pavimento);
- FT = fator de tráfego (maior prioridade quanto maior o volume de tráfego);
- CF = fator de classificação funcional;
- FR = fator de rota de trânsito de veículos especiais.

Outra forma de determinação do Índice de Prioridade, que também utiliza os fatores Índice de Condição dos Pavimentos (ICP), tráfego e classe funcional, incluindo de diferente apenas a idade desde a última intervenção, é mediante a utilização de matrizes de priorização, conforme apresentado na Figura 5 (CHEN et al., 1993).

		CÓDIGO DE IDADE							CLASSE FUNCIONAL				
		1	2	3	4	5			A	C	L		
C L I	Péssimo	1	1	2	3	4	5	T R Á F E G O	Muito Pesado	1	1	2	3
	Ruim	2	6	7	8	9	10		Pesado	2	4	5	6
	Regular	3	11	14	17	19	20		Médio	3	7	8	9
	Bom	4	12	15	18	21	22		Leve	4	10	11	12
	Excelente	5	13	16	23	24	25		Muito Leve	5	13	14	15
		x							x				
IP =		X %					+		Y %				

FIGURA 5 - Cálculo do Índice de Prioridade (IP) em função da condição do pavimento, da idade, do tráfego e da classe funcional (CHEN et al., 1993).

2.5 - Manutenção e Reabilitação dos Pavimentos

Existe íntima relação entre o desempenho dos pavimentos, as estratégias de intervenção, as datas de realização das atividades de manutenção e os custos. Atrasos nas atividades de manutenção e reabilitação quase sempre resultam em gastos adicionais quando a manutenção é finalmente executada, pois as estruturas dos pavimentos sofrem deterioração acelerada à medida em que estas são adiadas. A gerência de pavimentos visa minimizar esse problema, integrando a avaliação dos pavimentos com a definição das atividades de manutenção e reabilitação e a priorização.

Com base no inventário e no levantamento de campo, pode-se analisar, em nível de rede, diferentes estratégias de manutenção e reabilitação (por exemplo, "não fazer nada", "manutenção corretiva", "manutenção preventiva", "recapeamento", "reconstrução"). Finalmente, passa-se à análise em nível de projeto, que consiste na definição das atividades de manutenção e, quando for o caso, no dimensionamento dos reforços e na reconstrução.

De uma maneira geral, as atividades de manutenção podem ser divididas em duas categorias: preventiva e corretiva. A manutenção preventiva consiste no grupo de atividades realizadas para proteger o pavimento e reduzir a sua taxa de deterioração, enquanto que as atividades da manutenção corretiva visam eliminar um determinado tipo de defeito.

Embora as atividades de manutenção ajudem a prolongar a vida em serviço, os pavimentos precisam, mais cedo ou mais tarde, de atividades de reabilitação, que consistem de trabalhos mais efetivos, visando a recuperação, o reforço ou a adaptação de pavimentos deficientes. Após a avaliação dos pavimentos, os valores dos índices combinados também podem dar a indicação sobre que estratégia de manutenção e reabilitação adotar (Figura 6).

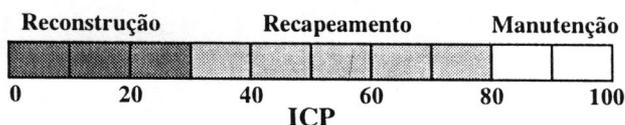


FIGURA 6 - Estratégia de manutenção e reabilitação mais indicada com base no valor do índice de condição dos pavimentos (INSTITUTO DO ASFALTO, 1989).

Alguns sistemas de gerência de pavimentos utilizam "árvores de decisão" na escolha das estratégias de manutenção e reabilitação (Figura 7). As estratégias podem ser definidas, por exemplo, a partir da condição dos pavimentos, representada pelo ICP, da idade desde a última intervenção e do volume de tráfego médio diário (VDM). Também podem ser usadas "árvores de decisão" (Figura 8) para a seleção da atividade mais adequada, conforme o tipo de deterioração.

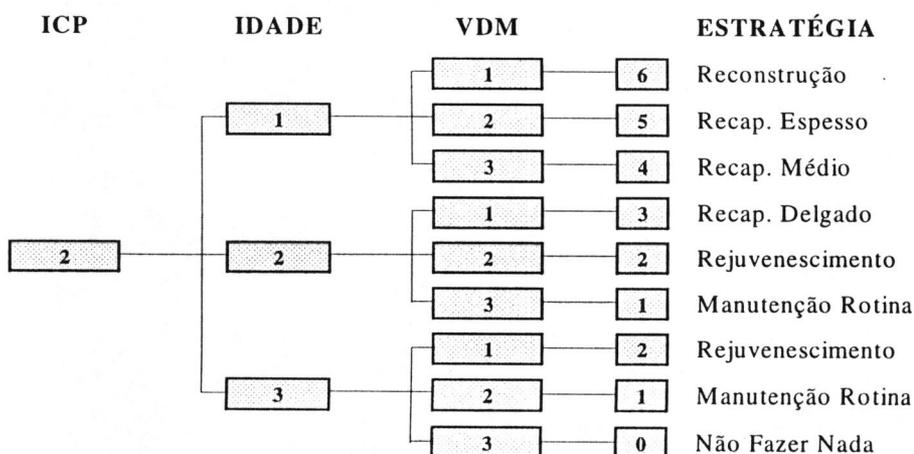


FIGURA 7 - Exemplo de "árvore de decisão" para seleção das estratégias de manutenção e reabilitação (CHEN et al., 1993).



FIGURA 8 - Exemplo de “árvore de decisão” para seleção de métodos de reparos para cada tipo de deterioração (CHEN et al., 1993).

3 - PERSPECTIVAS FUTURAS DOS SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

3.1 - Introdução

Toda tecnologia deve ser dinâmica, com contínuo desenvolvimento e aperfeiçoamento. Os sistemas de gerência de pavimentos não constituem exceção, sendo de grande importância, portanto, a identificação de áreas que necessitam ser incrementadas para melhor atender as necessidades atuais e futuras. Buscando identificar essas áreas, FERNANDES JR. & HUDSON (1994) compilaram e analisaram as idéias e opiniões de profissionais ligados à engenharia de transportes a respeito de pesquisas e inovações necessárias para o desenvolvimento e implementação com sucesso da gerência de pavimentos. As opiniões foram baseadas em questionários sobre a “identificação de problemas”, respondidos por mais de 400 profissionais, atuantes em organismos rodoviários dos Estados Unidos e de mais de 20 países, incluindo o Brasil. Dentre os mais citados, merecem destaque dois temas relacionados às perspectivas futuras da gerência de pavimentos: modelos para previsão de desempenho dos pavimentos e integração dos sistemas de gerência de pavimentos com Sistemas de Informação Geográfica.

3.2 - Métodos Estocásticos para Previsão de Desempenho: Processo de *Markov*

Os modelos de previsão devem ser adaptados às formas de deterioração que efetivamente condicionam as atividades de manutenção e reabilitação dos locais em que serão aplicados. No caso das cidades brasileiras de pequeno e médio porte, cujos pavimentos carecem de dados históricos, podem ser utilizados os modelos subjetivos de previsão de desempenho. Neste caso, a experiência de engenheiros e técnicos é formalizada através de processos de transição, como por exemplo o 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”. Ou seja, a probabilidade de qualquer evento futuro, dado qualquer evento passado e o estado atual, é independente do evento passado e depende apenas do estado atual do processo. Não são desconsideradas as informações passadas do processo: é como se todas estivessem 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 utilizou o processo de *Markov* para a previsão de desempenho dos pavimentos ao longo do tempo, na primeira implementação com sucesso de modelos matemáticos baseados em técnicas de previsão estocásticas, em gerência de pavimentos (WANG et al., 1994). Posteriormente, inúmeras agências também implementaram modelos de previsão baseados no processo de *Markov* (FEIGHAN et al., 1988; HARPER & MAJIDZADEH, 1991; SCHERER & GLAGOLA, 1994).

Para a determinação do modelo de previsão, o estado de um pavimento é definido em termos do Índice de Condição do Pavimento (ICP). O ICP, que varia de 0 a 100, é dividido em 10 estados iguais. Um ciclo de solicitação é definido como o período de 1 ano, em que o pavimento sofre solicitações climáticas e do tráfego. Um vetor estado indica a probabilidade da seção do pavimento estar em cada um dos 10 estados em qualquer ano, conforme apresentado na Figura 9 (BUTT et al., 1994).

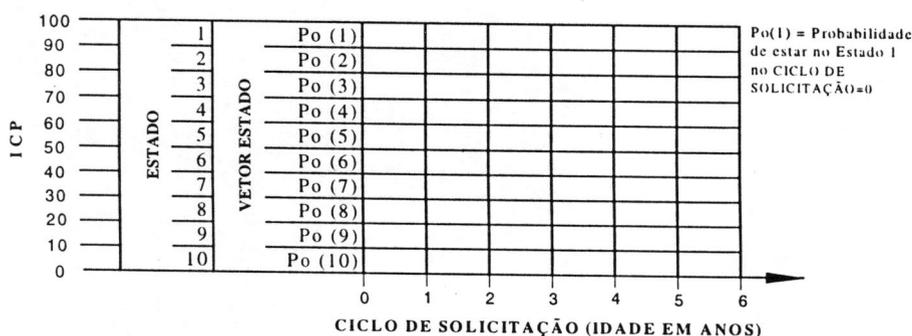


FIGURA 9- Representação esquemática de estado, vetor estado e ciclo de solicitação (BUTT et al., 1994).

Uma seção de pavimento é definida como uma parte da rede pavimentada que tem o mesmo tipo, estrutura, histórico de construção, condição, uso e classe funcional. Uma família de pavimento é definida como um grupo de seções de pavimento com características similares. Todas as seções vistoriadas são classificadas dentro de um dos 10 estados. Para modelar a deterioração do pavimento ao longo do tempo é necessário estabelecer a matriz de probabilidades de transição, que tem a forma

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

onde $p(j)$ 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 . Assim:

$$\tilde{p}(1) = \tilde{p}(0) * P \quad (3)$$

$$\tilde{p}(2) = \tilde{p}(1) * P = \tilde{p}(0) * P^2 \quad (4)$$

⋮

$$\tilde{p}(t) = \tilde{p}(t-1) * P = \tilde{p}(0) * P^t \quad (5)$$

Com este 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. A matriz de probabilidades de transição pode ser obtida a partir de dados de desempenho de um grande número de seções de pavimentos, submetidas a diferentes ações de manutenção e reabilitação por um longo período de tempo.

O que acontece, geralmente, é que não existem banco de dados com informações históricas suficientes para permitir a determinação direta das matrizes de transição. Neste caso, as matrizes podem ser estimadas através de métodos formais de entrevistas, como o método de Delfos (SAITO e SINHA, 1991). O método consiste em obter o consenso entre um grupo de especialistas através de respostas escritas, onde são utilizados uma série de questionários. Os especialistas fazem previsões sobre a evolução da deterioração dos pavimentos a partir de um determinado estado atual e por um dado período de tempo.

As vantagens dos modelos subjetivos incluem a possibilidade do desenvolvimento de curvas de desempenho sem dados históricos e a calibração direta. Dentre as desvantagens, a principal é a necessidade do desenvolvimento de matrizes de probabilidades de transição para cada combinação dos fatores que afetam o desempenho dos pavimentos (por exemplo, tipo de pavimento, espessura das camadas, volume e cargas do tráfego, tipo de subleito etc.).

Dadas as dificuldades para o estabelecimento de matrizes de probabilidades de transição, em razão do estágio atual da gerência de pavimentos no Brasil e também das dificuldades inerentes para o desenvolvimento completo do processo de Markov através de métodos formais de entrevistas (método de Delfos, por exemplo), tem-se buscado alternativas compatíveis com a nossa realidade. Assim, por exemplo, durante o curso “Atualização em Sistemas de Gerência de Pavimentos”, oferecido pelo Departamento de Transportes da EESC-USP em março de 1997 e que contou com a participação de 15 engenheiros que atuam na área de pavimentação em várias cidades do estado de São Paulo, procurou-se obter as opiniões desses especialistas a respeito do desempenho de 13 seções da malha pavimentada da cidade de São Carlos, SP.

Nesta tentativa de obtenção de subsídios para o desenvolvimento de modelos de previsão utilizou-se um questionário simplificado. Para cada especialista foram fornecidas informações obtidas do inventário de cada seção e buscou-se determinar:

- avaliação subjetiva da condição atual das seções, mediante atribuição de notas (0 a 100) ao pavimento com base apenas na inspeção visual;
- previsão da condição do pavimento no ano seguinte.

Para exemplificar, consideremos uma das seções analisadas. A média das avaliações subjetivas para a seção foi 75 (estado 3, ou seja, ICP entre 70 e 80). Conseqüentemente, o vetor estado inicial que representa a condição do pavimento é dado por:

$$\tilde{p}(0) = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0].$$

Temos a matriz de probabilidades de transição (P) estimada pelos especialistas para esta seção:

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,25 & 0,25 & 0,50 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,67 & 0,33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,50 & 0,50 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,50 & 0,50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,67 & 0,33 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Através da matriz de probabilidades de transição é possível prever a condição do pavimento em qualquer ano, aplicando-se a equação 5. Considerando um período de 6 anos, temos as seguintes probabilidades de alteração da condição do pavimento:

$$\tilde{p}(1) = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$\tilde{p}(2) = [0 \ 0 \ 0 \ 0,25 \ 0,25 \ 0,50 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$\tilde{p}(3) = [0 \ 0 \ 0 \ 0,06 \ 0,06 \ 0,29 \ 0,33 \ 0,25 \ 0 \ 0]$$

$$\tilde{p}(4) = [0 \ 0 \ 0 \ 0,02 \ 0,02 \ 0,07 \ 0,17 \ 0,60 \ 0,13 \ 0]$$

$$\tilde{p}(5) = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0,02 \ 0,04 \ 0,51 \ 0,39 \ 0,04]$$

$$\tilde{p}(6) = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0,01 \ 0,30 \ 0,51 \ 0,17]$$

A Figura 10 apresenta a curva estimada para o desempenho do pavimento da seção analisada.

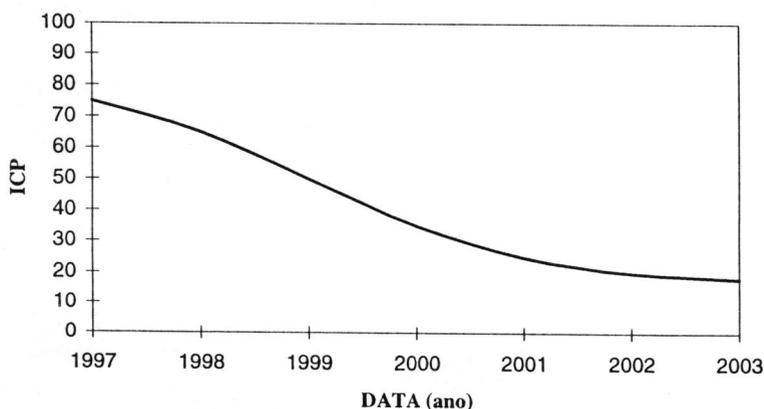


FIGURA 10 - Curva estimada de previsão de desempenho.

Portanto, devido às dificuldades da aplicação formal do método de Delfos (reuniões de consenso), propõe-se um procedimento alternativo para determinação das matrizes de probabilidades de transição, que consiste das seguintes etapas:

- seleção de várias seções com características similares quanto ao tipo e estrutura de pavimento, histórico de construção e classe funcional, mas em diferentes estágios de deterioração;
- avaliação subjetiva das seções por um grupo de especialistas e a previsão da condição para o próximo ano;
- cálculo da probabilidade condicional:

$$P(b/a) = \frac{\text{n}^\circ \text{ de seções que passariam do estado inicial (a) para o estado (b)}}{\text{n}^\circ \text{ de seções que estavam no estado inicial (a)}} \quad (6)$$

onde $P(b/a)$ é a probabilidade de uma seção passar do estado inicial (a) para o estado (b).

Deve-se destacar que o procedimento descrito consiste em uma simplificação com intuito de facilitar a análise das condições apresentadas, mediante visualização das mesmas no campo, ao contrário do que seria realizado no método de Delfos, por exemplo, em que todas as situações teriam de ser consideradas pelos especialistas, que forneceriam as probabilidades baseados nas informações do inventário da malha pavimentada.

Porém, qualquer que seja o procedimento adotado para o estabelecimento das matrizes de probabilidades de transição, deve-se sempre confrontar as previsões com o desempenho real dos pavimentos e, infelizmente, a única maneira existente para o aperfeiçoamento dos modelos de desempenho consiste no acompanhamento da condição dos pavimentos ao longo do tempo.

3.3 - Os Sistemas de Informação Geográfica

Nos últimos anos, os avanços tecnológicos na informática têm proporcionado o desenvolvimento e a divulgação de uma poderosa ferramenta: os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Trata-se de uma tecnologia que oferece ferramental operacional que auxilia e agiliza os procedimentos de planejamento, gerência e de tomada de decisão, sendo utilizada de forma cada vez mais promissora nas mais diferentes áreas. Na área de infra-estrutura de transportes, os Sistemas de Informação Geográfica podem ser utilizados no processo de gerência de pavimentos, permitindo sua compatibilização com outros sistemas de gerência, pois representam uma ferramenta poderosa e flexível na integração de informações de localização geográfica (dados espaciais) com dados atributos (dados alfanuméricos).

Existe a necessidade de desenvolvimento de um sistema de gerência global ou abrangente de tal forma que todos os sistemas rodoviários (pavimentos, pontes, transporte público, segurança, congestionamentos etc.) possam ser integrados em uma plataforma comum, buscando melhorar as decisões de gerência (Figura 11). Os sistemas de informação geográfica (SIG) permitem a integração dessas operações e a compatibilização dos sistemas de gerência à medida em que estabelecem uma base comum de dados geograficamente distribuídos (ZHANG et al., 1994).

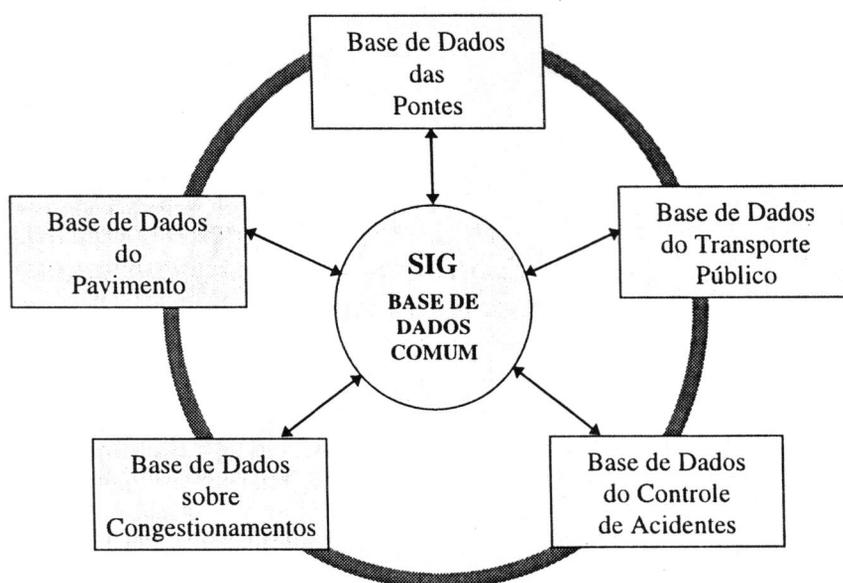


FIGURA 11 - Conceito de sistema de gerência global da infra-estrutura rodoviária (modificada de ZHANG et al., 1994).

Os Sistemas de Informação Geográfica já começam a produzir resultados satisfatórios na gerência da malha viária dos países desenvolvidos e diversos autores têm abordado sobre as suas aplicações (ABKOWITZ et al., 1990; SIMKOWITZ, 1990; OSMAN & HAYASHI, 1994; JOHNSON & DEMETSKY, 1994). A realidade brasileira é bastante diferente, mas a utilização de Sistemas de Informação Geográfica também representa uma área bastante promissora.

O primeiro passo para a utilização de um SIG no processo de gerência de pavimentos é o levantamento de dados de inventário das seções do pavimento, a caracterização dos principais defeitos e suas medidas de severidade e extensão. De posse dos dados necessários, pode-se fazer várias análises através de mapas temáticos. Pode-se construir um mapa mostrando, por exemplo, todos os defeitos que aparecem em uma determinada seção, ou criar um mapa indicando os índices de condição das várias seções do pavimento (Figura 12). A Figura 13 apresenta um mapa para seleção de seções que considera os fatores ICP, idade, classe funcional e tráfego.

Esta integração permite que os dados sejam armazenados de forma a possibilitar o rápido acesso tanto para a análise das vias e o estabelecimento de cronogramas de inspeções e intervenções como para o controle de tráfego e a tomada de providências em caso de desastres.

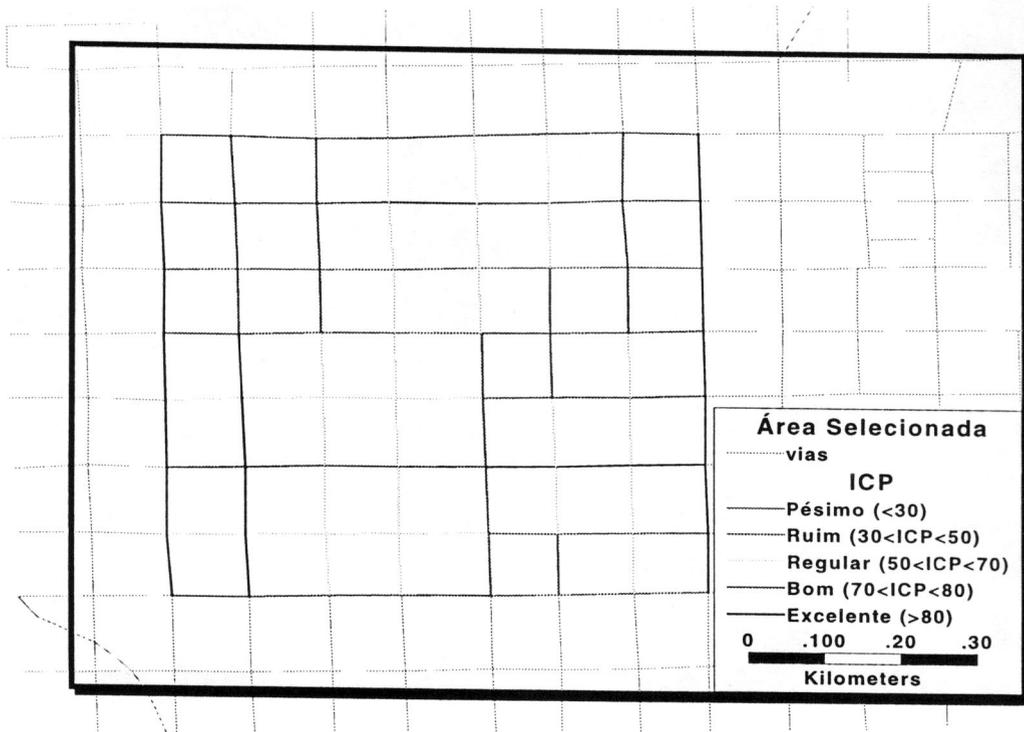


FIGURA 12 - Seleção das seções pelo Índice de Condição do Pavimento (ICP).

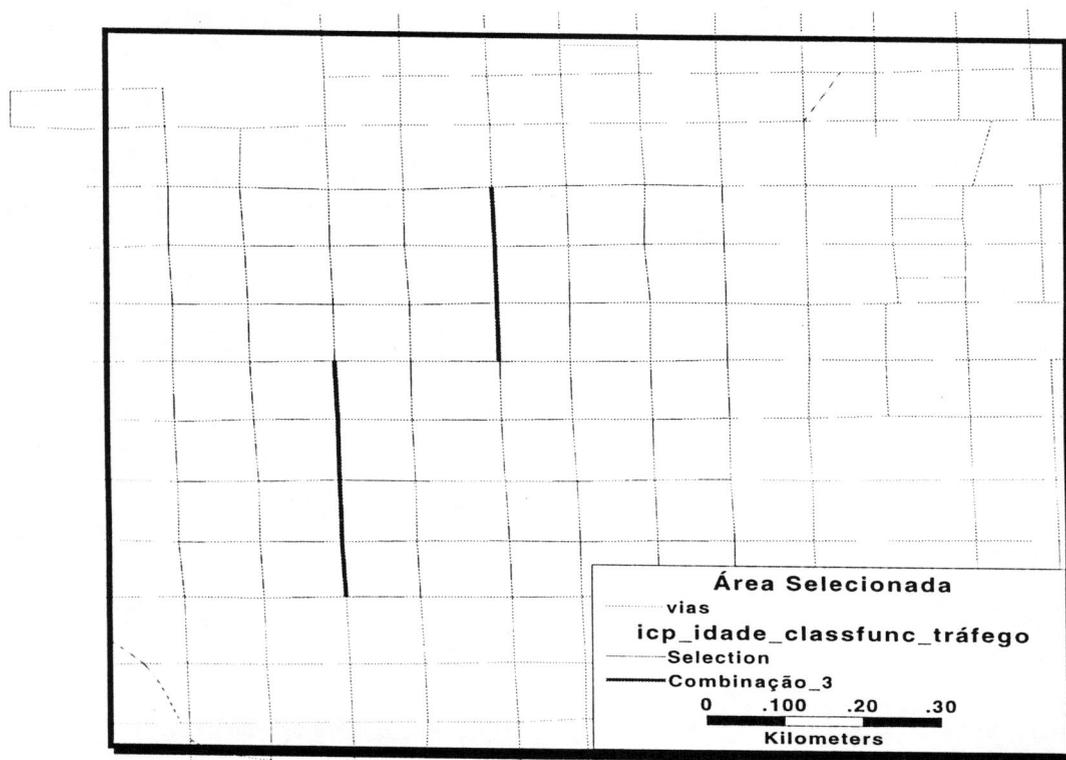


FIGURA 13 - Seleção de seções através da combinação dos fatores ICP, idade, classe funcional e tráfego.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho desenvolveu uma revisão bibliográfica sobre a gerência de pavimentos, particularmente a respeito do levantamento dos dados de inventário, da avaliação da condição dos pavimentos e dos métodos de priorização passíveis de serem utilizados nos distritos rodoviários, responsáveis pelas rodovias de baixo volume de tráfego. Apresentou dois temas relacionados às perspectivas futuras da gerência de pavimentos: os modelos estocásticos para previsão de desempenho e a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta de integração entre a gerência de pavimentos e os outros sistemas de gerência rodoviários.

Quanto ao inventário da rede pavimentada do distrito rodoviário, este deve ser tão simples quanto possível, facilitando a coleta das informações necessárias. A condição dos pavimentos pode ser quantificada, para fins de gerência em nível de rede, apenas através do levantamento de defeitos no campo, mediante inspeção visual. Em virtude da necessidade de uniformização da avaliação da condição dos pavimentos, visando facilitar a análise das causas dos defeitos e suas prováveis soluções, recomenda-se a adoção do manual de levantamento de defeitos no campo utilizado no Programa SHRP.

Para a determinação de índices combinados, como por exemplo o ICP, recomenda-se a calibração de fatores de ponderação para as condições que prevalecem na localidade onde será utilizado, reconhecendo-se que no início, em razão da inexistência de dados de desempenho, deverão ser adotados valores encontrados na literatura.

A inexistência de cadastros organizados e de um banco de dados com informações sobre projeto, construção, histórico das intervenções (manutenção e reabilitação) e monitorização da rede pavimentada tem motivado a aplicação de técnicas estocásticas para o desenvolvimento de modelos de desempenho, como por exemplo o processo de *Markov*, que permite prever a condição futura a partir apenas do conhecimento da condição atual. Apesar das dificuldades para a aplicação formal do método de Delfos, sugere-se a continuidade de estudos visando a determinação de matrizes de probabilidades de transição a partir da opinião de especialistas, eventualmente tentando-se procedimentos alternativos simplificados, como por exemplo o apresentado neste trabalho.

A experiência internacional tem mostrado que a tecnologia SIG representa uma ferramenta poderosa e flexível para a integração de informações localizadas geograficamente, permitindo a visualização espacial das análises realizadas e ampliando a capacidade de percepção dos resultados por parte dos usuários. Nesse sentido, a indispensável integração dos sistemas de gerência rodoviária poderá ser facilitada com a utilização de Sistemas de Informação Geográfica.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABKOWITZ, M.; WALSH, S.; HAUSER, E.; MINOR, L. (1990). Adaptation of Geographic Information Systems to Highway Management. *Journal of Transportation Engineering*. vol. 116, n. 3, p.310-327.

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1986). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Apêndice K: Typical Pavement Distress Type-Severity Descriptions. Washington, D.C.
- ARB (1978). *Catálogo dos Defeitos dos Revestimentos dos Pavimentos*. Associação Rodoviária Brasileira. Trad. por Hugo Alves Pequeno. São Paulo.
- BUTT, A. A.; SHAHIN, M. Y.; CARPENTER, S. H.; CARNAHAN, J. V. (1994). *Application of Markov Process to Pavement Management Systems at Network Level*. Third International Conference on Managing Pavements. San Antonio, Texas. vol. 2, p.159-172.
- CHEN, X.; WEISSMANN, J.; DOSSEY, T.; HUDSON, W.R. (1993). URMS: Graphical Urban Roadway Management System at Network Level. *Transportation Research Record* 1397.
- DOMINGUES, F. A. A. (1993). *MID - Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos*. São Paulo. LDTT/PTR/ EPUSP.
- FEIGHAN, K. J.; SHAHIN, M. Y.; SINHA, K. C.; WHITE, T. D. (1988). Application of Dynamic Programming and Other Mathematical Techniques to Pavement Management Systems. *Transportation Research Record* 1200. TRB, p.90-98.
- FERNANDES JR., J.L.; HUDSON, W.R. (1994). *Summary of User Identified Pavement Management Research Needs and Priorities*. Transportation Research Board Annual Meeting. TRB. Pavement Management Systems Committee. Washington, D.C., jan.
- HAAS, R.; HUDSON, W.R.; ZANIEWSKI, J. (1994). *Modern Pavement Management*. Krieger Publishing Co. Malamar, Florida.
- HARPER, W. V.; MAJIDZADEH, K (1991). Use of Expert Opinion in Two Pavement Management Systems. *Transportation Research Record* 1311. TRB, p.242-247.
- INSTITUTO DO ASFALTO (1989). *The Asphalt Handbook*. MS-4.
- JOHNSON, B. H.; DEMETSKY, M. J. (1994). Geographic Information System Decision Support System for Pavement Management. *Transportation Research Record* 1429. TRB.
- MOTTA, L. M. G. (1995). *Considerações a Respeito de Pavimentos e Tráfego nas Vias Urbanas*. Anais da 6ª Reunião de Pavimentação Urbana. ABPv, Santos. p.26-51.
- OSMAN, O.; HAYASHI, Y. (1994). Geographic Information Systems as Platform for Highway Pavement Management Systems. *Transportation Research Record* 1442. TRB, p.19-30.
- SAITO, M.; SINHA, K. C. (1991). Delphi Study on Bridge Condition Rating and Effects of Improvements. *Journal of Transportation Engineering*. vol. 117, n.3, p.320-334.
- SCHERER, W. T.; GLAGOLA, D. M. (1994). Markovian Models for Bridge Maintenance Management. *Journal of Transportation Engineering*. vol. 120, n.1, p.37-51.
- SHRP (1993). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies*. The Strategic Highway Research Program. National Academy of Science, Washington.
- SIMKOWITZ, H. J. (1990). Using Geographic Information System Technology to Enhance the Pavement Management Process. *Transportation Research Record* 1261. TRB, p.10-19.
- SMITH, R. E.; SHAHIN, M. Y.; DARTER, M. I.; CARPENTER, S. H. (1987). A Comprehensive Ranking System for Local Agency Pavement Management. *Transportation Research Record* 1123. TRB, p.67-76.
- TAVAKOLI, A.; LAPIN, M. S.; FIGUEROA, J. L. (1992). PMSC: Pavement Management System for Small Communities. *Journal of Transportation Engineering*. vol.118, n.2.
- WANG, K. C. P.; ZANIEWSKI, J.; WAY, G. (1994). Probabilistic Behavior of Pavements. *Journal of Transportation Engineering*. vol.120, n.3, p.358-375.
- ZHANG, Z.; DOSSEY, T.; WEISSMANN, J.; HUDSON, W. R. (1994). GIS Integrated Pavement and Infrastructure Management in Urban Areas. *Transportation Research Record* 1429. TRB, p.84-89.