PROCESSO HIERÁRQUICO ANALÍTICO NA GESTÃO DA CONSERVAÇÃO DE VIAS URBANAS PAVIMENTADAS

Josiane Palma Lima (UNIVERSITAS)
jplima@universitas.edu.br
José Leomar Fernandes Júnior (EESC/USP)
leomar@sc.usp.br
Rui António Rodrigues Ramos (UMINHO)
rramos@civil.uminho.pt
Renato da Silva Lima (UNIFEI)
rslima@unifei.edu.br

O objetivo geral deste trabalho é apresentar o estudo de critérios de decisão para um modelo de gestão da conservação de vias urbanas pavimentadas com a aplicação do Processo Hierárquico Analítico (AHP - Analytic Hierarchy Process). O AHP éé utilizado com o objetivo de definir o grau de importância (pesos) dos critérios relevantes ao processo decisório. Com base no Método de Comparação Par a Par, a fase de definição da importância relativa de cada critério contou com um painel de especialistas que preencheram planilhas eletrônicas e atribuíram pesos aos critérios de decisão. No intuito de ampliar as expectativas em relação aos critérios utilizados, a metodologia aplicada trouxe bons resultados, por considerar um grande número de critérios relevantes no que diz respeito ao estudo de prioridades em vias urbanas. O processo AHP permitiu calcular a consistência dos julgamentos efetuados, o que garante um elevado nível de confiabilidade no conjunto de pesos resultantes.

Palavras-chaves: Processo Hierárquico Analítico; Método de Comparação Par a Par; Critérios de Priorização; Gestão da Conservação de Vias Urbanas

1. Introdução

O crescimento urbano e a contínua sobrecarga nas infra-estruturas urbanas têm como conseqüência a diminuição da qualidade de vida nas cidades. A realização de ações planejadas, relacionadas diretamente com as vias urbanas, beneficia o desenvolvimento sustentável das cidades e o bem estar da população. As vias terrestres, tanto as rodovias quanto as vias urbanas, representam um importante meio de ligação e servem para escoar produtos e safras e dar acesso aos serviços de educação, saúde e lazer disponíveis nas cidades. Mais especificamente, os pavimentos de vias terrestres são um valioso patrimônio cuja manutenção e reabilitação são essenciais para a sua preservação. Qualquer interrupção ou redução na intensidade ou na freqüência dos serviços necessários à manutenção desse patrimônio implicará em aumentos substanciais nos custos de operação dos veículos e na necessidade de investimentos cada vez mais vultosos para recuperação da malha rodoviária (VISCONTI, 2000).

A busca do refinamento dos critérios, utilizados na seleção de vias pavimentadas sujeitas a manutenção e reabilitação (M&R), está sendo atualmente objeto de pesquisas, direcionadas fundamentalmente à procura de modelos que permitam melhorar as tomadas de decisão. Por outro lado, a falta de informação em relação às novas técnicas de conservação do pavimento por parte dos responsáveis pelos projetos e manutenção de vias urbanas e, frequentemente, a falta de recursos, são problemas constantes nas administrações públicas do país e que diminuem a eficácia nas tomadas de decisão.

Neste sentido, o presente trabalho apresenta procedimentos de avaliação de um conjunto bem definido de critérios (LIMA, 2007), quer sob aspectos técnicos quer sob aspectos sócio-econômicos, objetivando a priorização de seções de vias urbanas candidatas às atividades de M&R de pavimentos.

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um estudo de critérios de decisão para um modelo de gestão da conservação de vias urbanas pavimentadas com a aplicação do Processo Hierárquico Analítico (*AHP - Analytic Hierarchy Process*). O *AHP* é utilizado com o objetivo de definir o grau de importância (pesos) dos critérios relevantes ao processo decisório.

O trabalho pode ser dividido em duas etapas. A primeira contempla a identificação dos critérios de decisão e a segunda etapa do trabalho se trata da definição da importância relativa de cada critério, com aplicação do Método de Comparação Par a Par através do Processo Hierárquico Analítico. Esta etapa contou com a colaboração de um painel de especialistas para o preenchimento de planilhas eletrônicas e atribuição de pesos aos critérios.

2. Gestão da Conservação de Vias Pavimentadas

Um Sistema de Gestão de Pavimentos, segundo Haas *et al.* (1994), 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. As etapas (Figura1) necessárias para implementação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos, segundo MAPC (1986), são:

- Inventário: coleta e organização dos dados necessários para a correta implementação e para o bom desempenho do sistema;
- Avaliação da condição do pavimento: utilização de modelos para a previsão de desempenho da condição atual e futura dos pavimentos, modelos estes baseados em

avaliações periódicas dos pavimentos;
- Priorização: estabelecimentos dos níveis de prioridade, ou seja, adequação das necessidades aos recursos disponíveis;
- Programação das atividades de manutenção e reabilitação: estabelecimento dos critérios para as tomadas de decisões quanto às atividades de manutenção e/ou reabilitação do pavimento;
- Implementação: funcionamento efetivo do sistema, utilização da estratégia selecionada.

Figura 1- Etapas na implantação de um SGPU

O enfoque deste trabalho é dado à etapa de Priorização mostrada na Figura 1. Priorizar seções de pavimentos implica em adequar as necessidades de intervenções aos recursos disponíveis. Determinam-se quais seções são consideradas mais prioritárias, para a melhoria da qualidade do estado dos pavimentos, classificando cada segmento de via segundo uma determinada ordem de prioridade de intervenção, de modo a investir os recursos onde houver perspectivas de obter os maiores benefícios (HAAS *et al.*, 1994).

A definição das prioridades de conservação deve ser realizada considerando critérios técnicos e econômicos, não apenas a curto prazo, mas também analisando as conseqüências de todos os custos e benefícios a médio prazo. Isso se faz através da utilização de sistemas de gerência que permitam, através dos respectivos modelos de desempenho, simular os efeitos de diferentes estratégias de conservação. No entanto, Pereira & Miranda, (1999) comentam que mesmo na ausência destes meios de apoio à simulação de diferentes cenários (os modelos de desempenho), existe a possibilidade de determinar as prioridades de conservação através de um reduzido conjunto de critérios de compreensão bastante racional. Assim a definição de prioridades de manutenção deve considerar no mínimo: o estado do pavimento, a classe funcional da via e o volume de tráfego.

Visconti (2000) comenta que o DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, atualmente Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT), o órgão executor do Ministério dos Transportes, já utilizou diversos critérios para estabelecimento das necessidades e das prioridades de restauração. Resumidamente, em ordem crescente de complexidade, esses critérios podem ser relacionados como:

a) Critérios subjetivos – baseados em escolha subjetiva, simples e rápida, porém sujeita a inconsistência e quase sempre tendenciosa. Utilizada pelo DNER até o final da década de

70;

b) Critérios baseados em indicadores físicos – também de aplicação simples, utiliza parâmetros como a serventia, a deflexão ou a deterioração do pavimento (por exemplo, área trincada);
c) Critérios baseados em indicadores físicos, ponderados pelo volume de tráfego – relativamente simples, aproxima-se mais da solução ótima;
d) Critérios baseados em modelos de análise de investimentos – aplicação mais complexa que permite a determinação da solução ótima sob o ponto de vista econômico para cada trecho rodoviário;
e) Critérios baseados em modelos de análise de investimentos, associados a modelos de restrição orçamentária – complementa o anterior, adequando a programação ótima aos recursos disponíveis.

3. Definição dos Critérios de Decisão

A seleção de seções de pavimento numa rede viária urbana é essencialmente um processo de decisão através do qual se comparam as várias seções alternativas (possuidoras de características específicas) e se identificam as mais prioritárias a receber essa manutenção e/ou reabilitação. A priorização de seções pode ser desenvolvida de acordo com diferentes pressupostos, em função do desígnio que se pretende alcançar e das respectivas variáveis associadas.

De modo geral, o estudo desenvolvido por Lima (2007) abrange duas visões distintas, que podem ser consideradas autonomamente ou em conjunto, na identificação dessas priorizações. A primeira trata-se de uma visão socioeconômica, em que projetos consideram soluções estratégicas, buscando minimizar o custo das intervenções e maximizando o benefício dos usuários, no sentido de melhorar a qualidade de vias de acesso a locais específicos. E, a segunda, trata-se de uma visão técnica, em que a meta é manter a rede em boas condições para circulação do tráfego, mas procurando também aumentar a vida útil dos pavimentos.

A Tabela1 apresenta a definição de alguns fatores ou critérios que podem ser considerados no desenvolvimento das necessidades de intervenções em pavimentos viários (IRRGANG & MAZE, 1993; HAAS *et al*., 1994, FERNANDES JR. *et al*., 1999; PEREIRA & MIRANDA, 1999; BANDARA & GUNARATNE, 2001; DNIT, 2004; DNIT, 2005).

É notável a diversidade de critérios que são considerados pelos órgãos responsáveis para a seleção de projetos de manutenção. Entretanto, não há um consenso com relação à relevância ou o grau de importância dos critérios e parâmetros considerados nos processos de decisão. Cada país, estado e órgão responsável (estadual ou municipal) determina os parâmetros que farão parte da formulação matemática ou método adotado para priorizar as seções de pavimentos. Essa escolha é realizada de acordo com a realidade de cada local e, quase sempre, orientada pelos métodos propostos pelo HDM (*Highway Design and Maintenance Standards Model*), programa de gerência de pavimentos desenvolvido pelo Banco Mundial e considerado como exemplo no mundo inteiro.

Em 2005, como refere Lima (2007), foi realizada uma pesquisa com as prefeituras de cidades médias brasileiras que mostrou a opinião e o ponto de vista de especialistas e engenheiros responsáveis pelas obras viárias quanto aos critérios efetivamente relevantes para a seleção de vias pavimentadas.

Portanto, foram consideradas 111 cidades, identificadas pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 1999) como os principais centros urbanos que estruturam a rede municipal do país, classificados com base nos seguintes critérios: população total, densidade

demográfica, porcentagem da População Economicamente Ativa (PEA) em atividades urbanas. Os questionários tiveram um índice de respostas suficientes para se fazer uma análise estatística, pois aproximadamente 30% das prefeituras participaram da pesquisa.

Alguns critérios foram identificados como relevantes na decisão, tais como: condição do pavimento, hierarquia viária, a localização das seções de pavimentos e os custos associados a M&R dos pavimentos. Além desses critérios, outros foram considerados importantes para a decisão: Serviços de tapa-buracos (realização de manutenção de rotina e não de prevenção); Localização: dar prioridade a locais que possam causar transtornos à circulação de pedestres e veículos; Compatibilização com outros serviços de infra-estruturas urbanas; Corredores de ônibus, por se tratar de manutenção mais sistemática; Vontade política: relacionada com propostas de campanha eleitoral, solicitações de orçamento participativo e critérios sócio-econômicos. Para informações mais detalhadas sobre a pesquisa realizada com as prefeituras ver Lima (2007).

Critérios de Decisão	Definição
Volume de Tráfego e Classificação Funcional	Relacionados com a importância econômica da via. O Volume de Tráfego geralmente é medido através do volume de tráfego diário médio e as vias são classificadas como, por exemplo: Via Arterial, Via Coletora e Via Local
Tipo de Rota	As vias podem possuir tráfego de veículos de passeio, rotas de veículos especiais (ambulâncias, bombeiros, ônibus urbanos) ou rotas de veículos pesados
Capacidade Funcional	Avaliação da qualidade da superfície de rolamento. Defeitos superficiais, Índice de condição do pavimento e Irregularidade Longitudinal são parâmetros que caracterizam, através de índices, a avaliação funcional de um pavimento
Capacidade Estrutural	Avaliação estrutural do pavimento através de análise dos defeitos de superfície ou de ensaios, destrutivos ou não destrutivos
Idade	Idade do pavimento ou dados sobre o ano da última intervenção são fatores importantes que agregam informação nos modelos de priorização de pavimentos
Localização	Vias que atendem escolas, centros de saúde, instalações militares, zonas industriais ou turísticas devem ser mantidas em boas condições de tráfego para que não haja eventuais acidentes e atrasos durante o tempo de viagem
Questões de Segurança	Identifica-se os pavimentos com alto índice de acidentes e com baixo valor de aderência para avaliação das necessidades e programação de medidas corretivas
Questões Ambientais	Frenagem, aceleração e congestionamento de veículos relacionados com a existência de deterioração do pavimento podem causar ruídos, impactos na qualidade do ar e na qualidade da água
Fatores Econômicos	Pode ser dividido em dois grupos principais: os custos da administração (custos iniciais de construção, custos de manutenção e reabilitação e valor residual) e dos usuários (custo de operação de veículos, do tempo de viagem e de acidentes)

Tabela 1 – Definição dos critérios utilizados para as intervenções no pavimento

Finalmente, tendo por base os resultados da pesquisa referida, e na posse das respostas e opiniões obtidas de profissionais responsáveis por obras e serviços relacionados com os pavimentos urbanos, definiu-se uma lista de critérios efetivamente relevantes. Os critérios foram estruturados em quatro grandes grupos: Fatores associados à hierarquia viária; Fatores associados às questões técnicas e operacionais; Fatores associados à localização das seções de pavimentos; Fatores associados aos custos. Deve-se enfatizar que os critérios considerados devem ser passíveis de avaliação, tanto do ponto de vista da disponibilidade de dados quanto do ponto de vista do esforço de aquisição dos mesmos.

4. Aplicação do Processo Hierárquico Analítico

A quantificação da importância dos vários critérios e seus agrupamentos, ou seja, o quanto eles influenciam a necessidade de M&R dos pavimentos, é estabelecida na metodologia desenvolvida recorrendo a técnicas de Avaliação Multicritério (MCDA- *Multicriteria Decision Analysis*). Assim, admite-se que a avaliação da prioridade de intervenções depende das importâncias de cada critério que serão traduzidas em contribuições diferenciadas no cálculo de um índice de prioridade.

A escolha do método MCDA faz parte da fase de estruturação do problema e os decisores precisam concordar plenamente com o método escolhido. Existem vários métodos MCDA, utilizados com sucesso em diversas situações, como por exemplo, o *AHP - Analytic Hierarchy Process*, o ELECTRE - *Elimination and choice translating algorithm*, o PROMETHEE - *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation* e o MACBETH - *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (SAATY, 1980; BANA e COSTA & VASNICK, 1994; SALOMON *et al*., 1999; BANA e COSTA & VASNICK, 2007). Os vários métodos diferem no modo como as preferências em relação aos vários critérios são especificadas e no modo como as alternativas são ordenadas (CAFISO *et al*, 2002).

Conforme Cafiso *et al.* (2002), o *AHP* parece ser uma das metodologias que mais se adapta nas aplicações e decisões na gerência de infra-estruturas viárias, mostrando-se satisfatório na integração com os Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGPs), como por exemplo o HDM-4 (*Highway Development and Management Tool*), porque produz um índice baseado num *ranking* com medida do desempenho das alternativas.

Portanto, para a definição dos pesos neste trabalho, adotou-se o método de comparação par a par proposto no Processo Analítico Hierárquico (SAATY, 1980). Por meio dessa técnica, pesos e prioridades são derivados a partir de um conjunto de julgamentos subjetivos realizados por avaliadores ou participantes envolvidos no processo. Foram desenvolvidas matrizes de comparação par a par, utilizando a escala de nove níveis de Saaty. A comparação par a par, entre os *n* critérios, é realizada a partir de uma matriz quadrada *n x n*, onde os critérios estão dispostos na mesma ordem ao longo das linhas e das colunas. Portanto, o valor *aij* representa a importância do critério da linha *i* em relação ao critério da coluna *j*, conforme a Equação (1).

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, \text{ para i} \neq \text{j} \qquad \text{e} \qquad a_{ij} = 1, \text{ para i} = \text{j} \qquad (1)$$

Essa matriz é, entretanto, uma matriz recíproca. Por exemplo, se o critério da linha i=1 é cinco vezes mais importante que o critério da coluna j= 3, então a_{13}=5 e a_{31}=1/5. Isso implica que apenas a metade triangular superior direita da matriz necessita ser avaliada, já que a outra metade deriva desta e a diagonal principal assume valores unitários. O desenvolvimento das comparações par a par de critérios exige a adoção de uma escala que expresse e possibilite a normalização dos julgamentos efetuados. Neste trabalho adotou-se a escala proposta por Saaty (1980), composta por nove níveis numéricos, conforme a Figura 1.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente menos importante	Bastante menos importante	Muito menos importante	Pouco menos importante	Igual importância	Pouco mais importante	Muito importante	Bastante mais importante	Extremamente mais importante

Figura 1 - Escala de Comparação de Critérios

A avaliação foi realizada por meio de planilhas eletrônicas desenvolvidas por Costa (2003) e adaptadas para esta pesquisa. As planilhas foram enviadas a especialistas e profissionais convidados a participar de um painel de avaliação. O painel de avaliadores contou com profissionais da área de transportes, entre professores doutores, mestres e alunos de pós-graduação, totalizando 20 avaliadores, dentre os quais, a metade participou da avaliação preenchendo as planilhas, representado a opinião de especialistas no processo decisório.

As planilhas continham não só as matrizes de comparação, como também todas as instruções e informações necessárias para o preenchimento das mesmas. Baseado na estrutura hierárquica da Figura 2, na qual os códigos são referentes aos critérios apresentados na Tabela 3, os profissionais consultados efetuaram comparação par a par, de critérios ou grupo de critérios de decisão, definindo a importância relativa dos mesmos, para a priorização de seções candidatas às atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos.

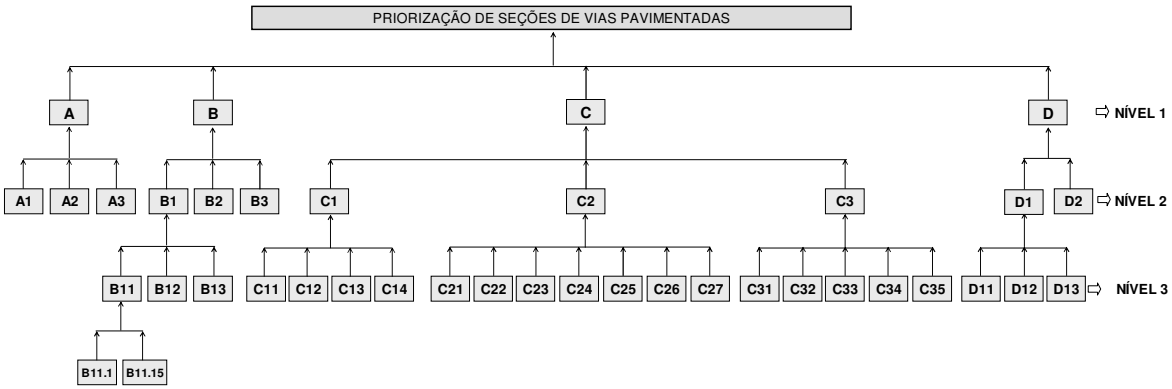

Figura 2 - Estrutura hierárquica do modelo de priorização de seções de vias pavimentadas

Código	Fatores e Grupos de Fatores
A	**Fatores associados à hierarquia viária**
A1	*Classe funcional*
A2	*Tipo de rota*
A3	*Volume de tráfego*
B	**Fatores associados às questões técnicas e operacionais**
B1	*Necessidade técnica por intervenção*
B1.1	Índice combinado de defeitos
B1.1.1	Trincas por Fadiga
B1.1.2	Trincas em Blocos
B1.1.3	Defeito nos Bordos
B1.1.4	Trincas Longitudinais
B1.1.5	Trincas por Reflexão
B1.1.6	Trincas Transversais
B1.1.7	Remendos
B1.1.8	Panelas
B1.1.9	Deformação Permanente
B1.1.10	Corrugação
B1.1.11	Exudação
B1.1.12	Agregados Polidos

Código	Fatores e Grupos de Fatores
C	**Fatores associados à localização das seções de pavimento**
C1	*Proximidade a infra-estruturas de Transportes*
C1.1	Proximidade a terminal rodoviário
C1.2	Proximidade a terminal ferroviário
C1.3	Proximidade a portos e aeroportos
C1.4	Proximidade a rodovias
C2	*Proximidade a equipamentos públicos*
C2.1	Proximidade a escolas primárias e secundárias
C2.2	Proximidade a universidades
C2.3	Proximidade a postos de saúde
C2.4	Proximidade a hospitais
C2.5	Proximidade a centros administrativos
C2.6	Proximidade a corporação de bombeiros
C2.7	Proximidade a instalações militares
C3	*Preferências pessoais ou administrativas*
C3.1	Proximidade a centros comerciais
C3.2	Proxim.a bairros particular qualidade de vida
C3.3	Proximidade a áreas de lazer e esportes
C3.4	Proximidade a áreas turísticas

B1.1.13	Desgaste	C3.5	Proximidade a áreas industriais
B1.1.14	Desnível	**D**	**Fatores associados aos custos**
B1.1.15	Bombeamento	*D1*	*Custos dos Usuários*
B1.2	Índice da condição do pavimento	D1.1	Custo de operação de veículos
B1.3	Idade do pavimento	D1.2	Custo do tempo de viagem
B2	*Questões Ambientais*	D1.3	Custo de acidentes
B3	*Questões de Segurança*	*D2*	*Custos da Administração*

Tabela 2 - Critérios e agrupamentos e respectivos códigos da estrutura hierárquica

A Figura 3 exemplifica uma matriz de comparação par a par. Nesse exemplo os critérios dos quatro grandes grupos (Hierarquia Viária, Questões Técnicas e Operacionais, Localização e Custos) estão sendo comparados entre si. Os critérios são colocados na mesma ordem nas linhas e nas colunas da matriz, que é preenchida de acordo com a escala apresentada na Figura 1. Deste modo, define-se a matriz A=[a_{ij}].

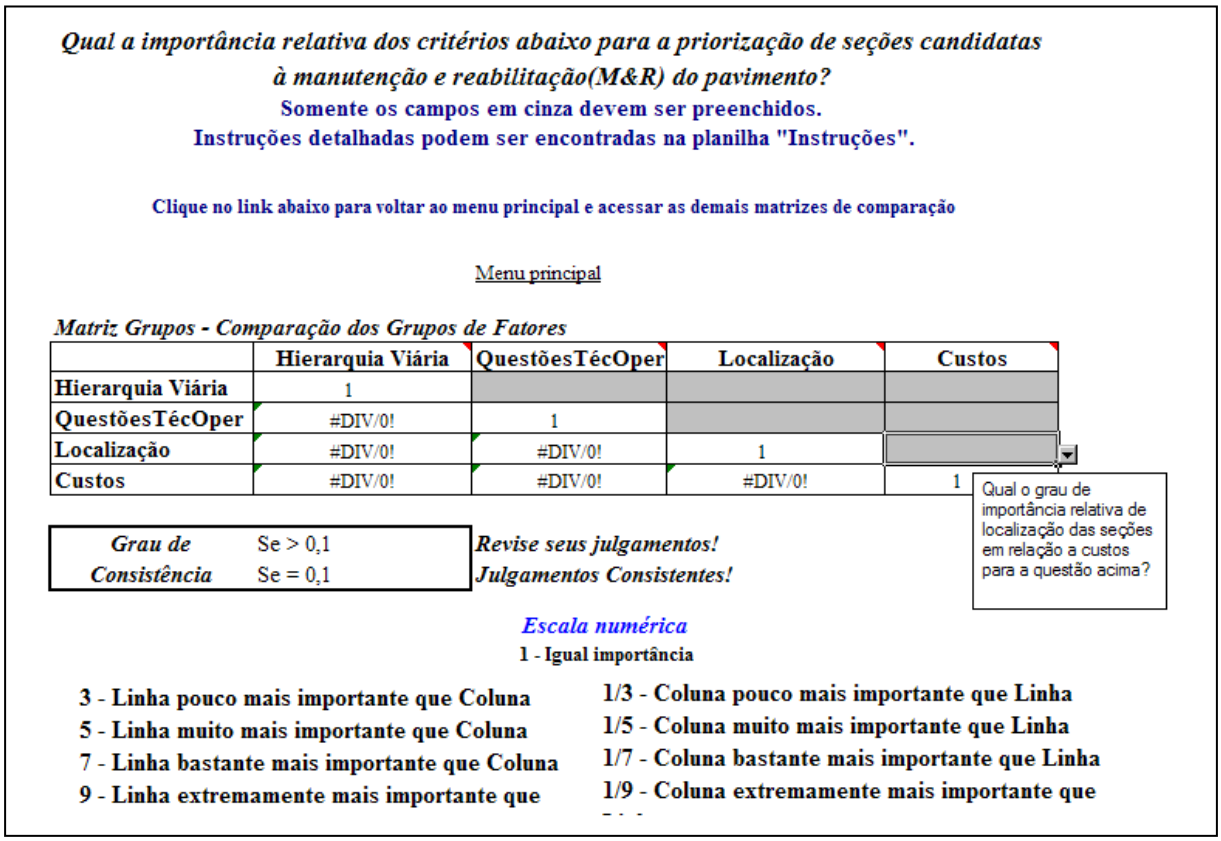

Figura 3 – Exemplo de Matriz de Comparação Par a Par em Planilha Eletrônica

Depois de ter determinado o peso de cada critério, o processo *AHP* permite calcular o Grau de Consistência (*CR- Consistency Ratio*) dos julgamentos efetuados. Uma vez realizadas todas as comparações, foram determinados os pesos finais, através da média aritmética dos pesos calculados a partir das avaliações individuais.
A próxima etapa refere-se ao cálculo propriamente dito dos pesos de cada critério. Depois de definida a matriz *A=[aij]* e realizada a avaliação dos pesos que expressam o julgamento de cada especialista, calcula-se o peso final de cada critério para o processo de decisão. Esta etapa conta com o cálculo do *eigenvector* principal e o cálculo do máximo *eigenvalue*.

Portanto, para qualquer matriz A pode-se calcular o vetor *wi* pela resolução da Equação 1, na qual *A* é a matriz de comparação par a par, *w* é o vetor de pesos pretendidos e *λmáx* é o máximo *eigenvector* da matriz *A*.

$$Aw = \lambda_{máx} w \tag{1}$$

O *eigenvector* resultante do máximo *eigenvalue* da matriz A traduz a prioridade dos fatores e preserva a preferência ordinal entre as alternativas (SAATY, 1980). Portanto, os valores do vetor w podem ser obtidos pela Equação 2.
A Equação 2 é traduzida pela soma dos valores de cada coluna da matriz A, seguida pela divisão de cada elemento da matriz pelo somatório da coluna a que pertence, obtendo-se assim uma matriz de comparação par a par normalizada; e, por fim, a divisão da soma dos scores normalizados de cada linha da matriz pelo número de critérios avaliados. O máximo *eigenvalue* (*λmáx*) é determinado pela Equação 3, sendo que o vetor *w`* é obtido através da Equação 4.

$$w_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}\right)^{1/n}}{\sum_{k=1}^{n}\left[\left(\prod_{j=1}^{n} a_{kj}\right)^{1/n}\right]} \tag{2}$$

$$\lambda_{máx} = \frac{1}{n}\left(\frac{w`_1}{w_1} + \frac{w`_2}{w_2} + \ldots + \frac{w`_n}{w_n}\right) \tag{3}$$

$$w' = A \times w \tag{4}$$

Depois de ter determinado o peso de cada critério, o processo *AHP* permite calcular o Grau de Consistência (*CR- Consistency Ratio*) dos julgamentos efetuados. O Grau de Consistência é determinado através da Equação 5, na qual *CI* é o Índice de Consistência (*Consistency Index*) e *RI* é o Índice de Aleatoriedade (*Random Index*). O Índice de Consistência é determinado pela Equação 6. Já os Índices de Aleatoriedade são valores tabelados propostos por Saaty (1980), gerados através do cálculo do valor médio de *CI* obtido para matrizes recíprocas geradas aleatoriamente (Tabela 3).

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{5}$$

$$CI = (\lambda_{máx} - n)/(n-1) \tag{6}$$

n	RI	n	RI	n	RI
1	0,00	6	1,24	11	1,51
2	0,00	7	1,32	12	1,48
3	0,58	8	1,41	13	1,56
4	0,90	9	1,45	14	1,57
5	1,12	10	1,49	15	1,59

Para valores de n = 1, 2,...., 15

Fonte: Adaptada de Saaty (1980)]

Tabela 3 - Índice de Aleatoriedade (*RI*)

Finalmente, uma eventual reavaliação da matriz de comparação pode ser necessária caso o valor de *CR* seja superior a 0,1. Este valor é freqüentemente citado na literatura como indicativo de um nível razoável de consistência para a comparação par a par. Entretanto, é necessário reavaliar os julgamentos realizados caso este valor seja ultrapassado (SAATY e VARGAS, 1991, MALCZEWSKI, 1999;; RAMOS, 2000;).
Como resultado do procedimento de comparação par a par, através do *AHP*, obteve-se os pesos que representam a importância relativa de cada critério no processo de priorização de vias pavimentadas. Na Tabela 4 são apresentados os resultados da avaliação dos especialistas para todos os critérios e grupos de critérios envolvidos no objetivo em questão.
De acordo com a opinião dos especialistas (Tabela 4), a maior relevância para o processo de decisão é dada ao grupo dos fatores associados às Questões Técnicas e Operacionais, valorizando, portanto, os modelos existentes de priorização para a gestão da conservação de pavimentos. O grupo dos fatores associados aos custos e à hierarquia viária também tem pesos importantes no processo de decisão, ficando o grupo dos fatores associados à localização com a menor importância relativa atribuída pelos avaliadores.

Código	Fatores e Grupos de Fatores	Pesos
A	**Fatores associados à hierarquia viária**	**0,223**
A1	*Classe funcional*	*0,286*
A2	*Tipo de rota*	*0,214*
A3	*Volume de tráfego*	*0,5*
B	**Fatores associados às questões técnicas e operacionais**	**0,378**
B1	*Necessidade técnica por intervenção*	*0,343*
B1.1	Índice combinado de defeitos	0,47
B1.1.1	Trincas por Fadiga	0,134
B1.1.2	Trincas em Blocos	0,036
B1.1.3	Defeito nos Bordos	0,031
B1.1.4	Trincas Longitudinais	0,04
B1.1.5	Trincas por Reflexão	0,053
B1.1.6	Trincas Transversais	0,044
B1.1.7	Remendos	0,049
B1.1.8	Panelas	0,211
B1.1.9	Deformação Permanente	0,146
B1.1.10	Corrugação	0,049
B1.1.11	Exudação	0,027
B1.1.12	Agregados Polidos	0,023
B1.1.13	Desgaste	0,059
B1.1.14	Desnível	0,048
B1.1.15	Bombeamento	0,05
B1.2	Índice da condição do pavimento	0,328
B1.3	Idade do pavimento	0,202
B2	*Questões Ambientais*	*0,128*
B3	*Questões de Segurança*	*0,529*

Código	Fatores e Grupos de Fatores	Pesos
C	**Fatores associados à localização das seções de pavimento**	**0,128**
C1	*Proxim. a infra-estruturas de Transportes*	*0,425*
C1.1	Proximidade a terminal rodoviário	0,346
C1.2	Proximidade a terminal ferroviário	0,149
C1.3	Proximidade a portos e aeroportos	0,205
C1.4	Proximidade a rodovias	0,3
C2	*Proximidade a equipamentos públicos*	*0,304*
C2.1	Proximidade a escolas primárias e secundárias	0,1
C2.2	Proximidade a universidades	0,113
C2.3	Proximidade a postos de saúde	0,183
C2.4	Proximidade a hospitais	0,237
C2.5	Proximidade a centros administrativos	0,082
C2.6	Proximidade a corporação de bombeiros	0,185
C2.7	Proximidade a instalações militares	0,099
C3	*Preferências pessoais ou administrativas*	*0,271*
C3.1	Proximidade a centros comerciais	0,334
C3.2	Proxim.a bairros particular qualidade de vida	0,141
C3.3	Proximidade a áreas de lazer e esportes	0,11
C3.4	Proximidade a áreas turísticas	0,234
C3.5	Proximidade a áreas industriais	0,181
D	**Fatores associados aos custos**	**0,271**
D1	*Custos dos Usuários*	*0,508*
D1.1	Custo de operação de veículos	0,246
D1.2	Custo do tempo de viagem	0,183
D1.3	Custo de acidentes	0,571
D2	*Custos da Administração*	*0,492*

Tabela 4 – Pesos dos Critérios de priorização de vias pavimentadas

A avaliação dos defeitos existentes no pavimento é de fundamental importância para estabelecer estratégias de manutenção e reabilitação dos pavimentos. Conforme a Tabela 4 pode-se observar que os resultados da avaliação par a par dos diferentes tipos de defeitos, avaliados para o desenvolvimento de um índice combinado de defeitos, foi dentro do esperado. A maior importância foi dada ao defeito Panelas, tendo aproximadamente o dobro do peso dos defeitos Deformação Permanente e Trincas por Fadiga, os quais, por sua vez, têm aproximadamente o dobro do peso dos defeitos restantes. Dentro do grupo restante, o defeito que levou a maior importância foi o Desgaste.

A grande importância dada ao defeito panela se justifica pelo fato do avaliador considerar mais prioritárias as seções candidatas às atividades de manutenção corretiva, que é o caso da atividade de tapa buraco. As panelas devem ser imediatamente reparadas, pois comprometem a segurança, o conforto e aumentam os custos dos usuários. Além disso, se não tratadas com certa urgência, permitem a entrada de água, enfraquecendo a estrutura e acelerando a deterioração. Os defeitos Trincas por Fadiga e Deformação Permanente se devem a problemas estruturais, que se agravam com o tráfego repetido de veículos e se não tratados podem comprometer as camadas inferiores do pavimento. O Desgaste é um Defeito que pode ser reparado com atividades de manutenção (capa selante, tratamento superficial ou lama asfáltica) e que, se tratado nos estágios iniciais, não necessita de maiores gastos com atividades de reabilitação, motivos pelos quais tem uma importância diferenciada para os avaliadores em relação ao restante dos defeitos.

5. A Metodologia Aplicada a Um Estudo de Caso

O método de Análise Multicriterial pode ser implementado num SIG (Sistema de Informação Geográfica), provendo suporte e mecanismos para representação de escolhas e prioridades num contexto de avaliação de critérios e objetivos conflitantes (Malczewski, 1999). Muitos trabalhos utilizam a integração entre SIG e MCDA, com resultados satisfatórios para a tomada de decisão: RAMOS (2000); MELLO *et al*. (2001); ZAMBON (2005).

Um exemplo de estudo de caso da integração MCDA e SIG foi apresentado por Lima *et al*. (2007), desenvolvido para a rede de vias urbanas de São Carlos, Estado de São Paulo, com o propósito de priorizar e facilitar o planejamento das atividades de manutenção e reabilitação a curto prazo. O índice de prioridades foi calculado através de uma Combinação Linear Ponderada (do inglês, WLC - *Weighted Linear Combination* - VOOGD, 1983), gerando um mapa final de prioridades, conforme apresentado na Figura 4.

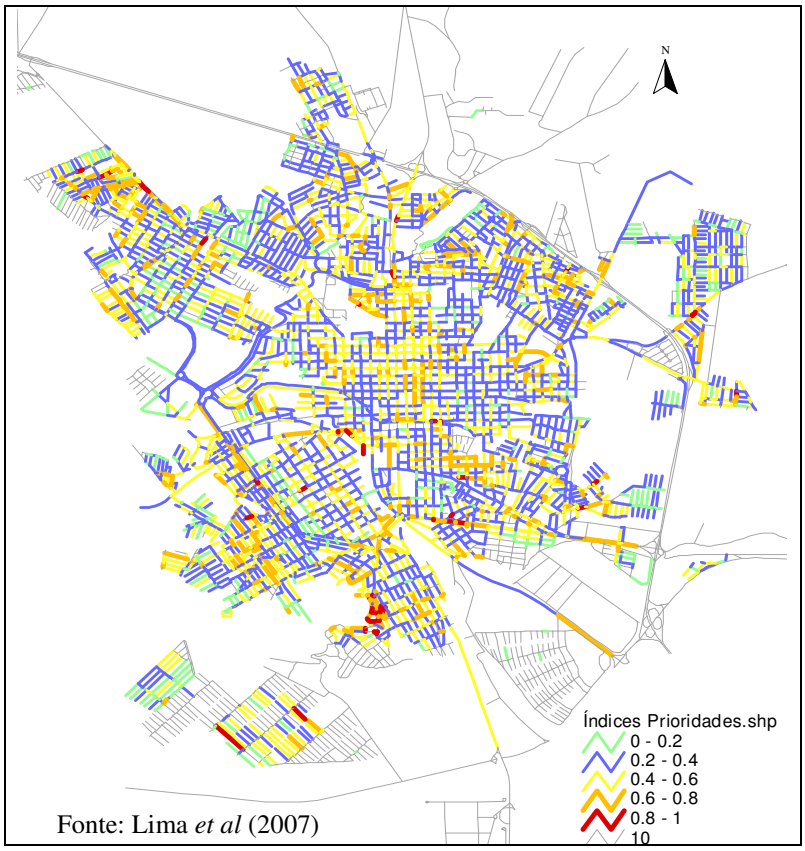

Figura 4 – São Carlos: Índice de Prioridade de vias pavimentadas

Cabe comentar que os resultados encontrados neste trabalho podem ser utilizados por gestores de vias urbanas, desde que seja adequado à realidade de cada cidade média brasileira e de cada administração. Pode ainda, ser estudada a viabilidade de aplicação em cidades de outras dimensões, desde que as particularidades dessas cidades sejam consideradas.

6. Considerações Finais

A gestão de vias envolve uma seqüência sistemática de atividades que partem do projeto, passando pela construção das vias até a manutenção e reabilitação (M&R) dos pavimentos. Estratégias de conservação das vias são possíveis quando se definem critérios específicos que auxiliem as decisões quanto a infra-estrutura dessas vias.

Esse trabalho apresentou os critérios de decisão e a aplicação do Processo Hierárquico Analítico (*AHP - Analytic Hierarchy Process*) na definição do grau de importância de critérios para a gestão das atividades de M&R sobre vias pavimentadas. Assim como a definição de critérios, a avaliação dos pesos de cada um deles e de seus agrupamentos é um ponto crucial para um processo estruturado em uma hierarquia de decisão. Os pesos dos critérios foram atribuídos, através do método de comparação par a par, por especialistas e profissionais da área de transportes.

No intuito de ampliar as expectativas em relação aos critérios utilizados, a metodologia aplicada trouxe bons resultados, por considerar um grande número de critérios relevantes no que diz respeito ao estudo de prioridades em vias urbanas e, ainda, o processo *AHP* permitiu calcular a consistência dos julgamentos efetuados, o que garante um elevado nível de confiabilidade no conjunto de pesos resultantes.

Destaca-se a flexibilidade do processo devido à possibilidade de modificar a estrutura hierárquica que foi desenvolvida, no instante que se pretende retirar ou adicionar algum critério de decisão. A importância atribuída a cada um dos critérios também pode ser reconsiderada, pois dependendo da cidade em que a metodologia seja aplicada novas opiniões podem ser atribuídas.
Do ponto de vista instrumental a exploração da metodologia pode assumir formato de utilização prática, tal como auxiliar administradores de órgãos governamentais que têm a função de avaliar e planejar as intervenções de conservação em vias urbanas pavimentadas.

Agradecimentos:

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), pelo apoio financeiro concedido a diversos projetos que subsidiaram o desenvolvimento desse trabalho.

Referências

BANA e COSTA, C. A. & VANSNICK, J. C.. A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP. *European Journal of Operational Research* vol. 187, no. 3, pp. 1422-1428. 2007.
BANA e COSTA, C. A. & VANSNICK, J. C.. MACBETH - An Interactive Path Towards the Construction of Cardinal Value Functions, *International Transactions in Operational Research*, vol. 1, n. 4, p. 489-500. 1994.
BANDARA, N. & GUNARATNE, M. Current and Future Pavement Maintenance Prioritization Based on Rapid Visual Condition Evaluation. *Journal of Transportation Engineering*. March/April, pp.116-123. 2001.
CAFISO, S.; GRAZIANO, A.; KERALI, H. R. & ODOKI, J. B. Multicriteria Analysis Method for Pavement Maintenance Management. *Transportation Research Record 1816.* TRB. Washington, D.C., pp73-84. 2002.
COSTA, M.S. Mobilidade urbana sustentável: um estudo comparativo e as bases de um sistema de gestão para Brasil e Portugal. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 2003.
DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Manual de Conservação Rodoviária*. 2ª.Ed. Rio de Janeiro, RJ. 2005.
DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Avaliação de Desempenho de Pavimentos Típicos Brasileiros.* Relatório Final. Enecon SA. 2004.
FERNANDES JR., J.L.; ODA, S. & ZERBINI, L.F. Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos. Apostila Didática. Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 1999.
HAAS, R.; HUDSON, W.R. & ZANIEWSKI, J. Modern pavement management. Krieger Publishing Co. Malamar, Florida. 1994.
IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Caracterização e tendências da rede urbana do Brasil. Campinas. 2v. 1999.
IRRGANG F.C. & MAZE, T.H. Status of Pavement Management Systems and data analysis models at state highway agencies. Transportation Research Record 1397. TRB. National Research Council Washington, D.C., pp 1-6. 1993.
LIMA, J. P.. *Modelo de decisão para a priorização de vias candidatas às atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos*. 167 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
LIMA, J.P.; RAMOS, R.A.R. & FERNANDES Jr, J.L. Metodologia de Análise Multicritério na Manutenção e Reabilitação de Pavimentos: Estudo de Caso em São Carlos-SP. In: *XVI ANPET - Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Rio de Janeiro, RJ 2007. Anais... XXI ANPET - Panorama Nacional de Pesquisa em Transportes, 2007.
MALCZEWSKI, j. *GIS and multicriteria decision analysis.* New York: John Wiley & Sons, Inc. 1999.
MAPC. *Pavement management - a manual for communities*. U. S. Depatment of Transportation. Metropolitan Area Planning Council, Boston, MA. 1986.
MELLO, J. C. C. B. S.; GOMES, E. G. ; LINS, M. P. E. & VIEIRA, L. A. M. Um caso de estudo de integração SIG-DEA-MCDA: a influência de uma instituição de ensino superior em vários municípios do estado do Rio de Janeiro. *Revista Científica Investigação Operacional.* Vol nº21. 2001.
PEREIRA, P. & MIRANDA, V. Gestão da conservação dos pavimentos rodoviários. Braga, Portugal. 1999.

RAMOS, R.A.R. Localização industrial – um modelo espacial para o noroeste de Portugal. Tese (Doutorado). Universidade do Minho. Braga, Portugal. 2000.
SAATY, T. & VARGAS, L.. Método de Análise Hierárquica. São Paulo: McGraw Hill, Makron, 1991.
SAATY, T.. The Analytic Hierarchy Process. New York. McGraw Hill. 1980.
SALOMON, V.P.; MONTEVECHI, J. A. B. & PAMPLONA, E. O.. *Justificativas para aplicação do método de análise hierárquica*. In: Anais do XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 1999, Rio de Janeiro. 1999.
VISCONTI, T. S. O Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER. 2000.
VOOGD, H.. *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. London: Pion Ltd. 1983.
ZAMBON, K.L.; CARNEIRO, A. A. F. M.; SILVA, A. N. R. & NEGRI, J. C. Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG. *Pesquisa Operacional*, v.25, n.2, p.183-199. 2005.