

15ª REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA

15ª RPU



SALVADOR/BA - BRASIL - 28 a 30 de maio de 2008

ESTUDO DE MAPAS DE PRIORIZAÇÃO DE PAVIMENTOS URBANOS COM O USO DE SIG E A METODOLOGIA DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Josiane P.Lima¹; Rui António R. Ramos² & José Leomar Fernandes Jr.³

¹ Universitas; FEPI; Av. Doutor Antônio Braga Filho, Bairro Varginha; 37501-002; Itajubá; MG; Brasil; jplima@universitas.edu.br

² Universidade do Minho; Departamento de Engenharia Civil; Campus de Gualtar; 4710-553; Braga; Portugal; rmos@civil.uminho.pt

³ USP; EESC; Departamento de Transportes; Av. Trabalhador Saocarlene, 400; 13566-970; São Carlos; SP; Brasil; leomar@sc.usp.br



RESUMO

A priorização de seções de vias urbanas pavimentadas se faz necessária principalmente quando os custos das atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos são maiores de que os recursos disponíveis para as mesmas. Neste contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de mapas de prioridades com a aplicação da Metodologia de Análise Multicritério agregada a um Sistema de Informação Geográfica. Tem por objetivo o estudo comparativo entre mapas temáticos quando da inserção de novos critérios de decisão. O estudo de caso realizado na cidade de São Carlos-SP, utilizando-se levantamento da condição do pavimento de toda a malha viária, permitiu avaliar as vias urbanas prioritárias às atividades de M&R com relação à sua localização, condição do pavimento, hierarquia viária e custos das estratégias previstas.

PALAVRAS-CHAVE: Priorização de Pavimentos Urbanos, Metodologia de Análise Multicritério, Sistema de Informação Geográfica.

ABSTRACT

The prioritization of urban roadways is necessary when the costs of pavement Maintenance and Rehabilitation (M&R) are larger than the available resources. In this context, this work presents the development of priorities maps based on Multicriteria Decision Analysis and GIS (Geographical Information System). The main goal of this work is to accomplish a comparative study among thematic maps when new decision criteria are inserted. The case study performed at the city of Sao Carlos, State of Sao Paulo, Brazil, used a data bank available from previous research works on pavement evaluation. Thus, it was possible the evaluation of an urban roads prioritization program based on pavement condition, roads hierarchy, costs of M & R strategies and location.

KEY WORDS: Urban Roadways Prioritization, Multicriteria Decision Analysis, Geographical Information System.



INTRODUÇÃO

A necessidade de conservação de redes viárias urbanas tem incentivado a promoção de estudos envolvendo vários temas relacionados com a gestão de atividades sobre os pavimentos urbanos. Portanto, percebeu-se a necessidade de se desenvolver ferramentas para monitorar desde a construção, a conservação até a reconstrução dos pavimentos. Entretanto, critérios técnicos e quantitativos, para as questões relacionadas à seleção dos locais onde essas atividades são realizadas, geralmente são pré-estabelecidos dentro de sistemas complexos e poucos são os procedimentos simplificados que consideram quesitos cada vez mais importantes para a sociedade moderna. Diversas novas exigências têm em vista conceitos associados à mobilidade sustentável, e envolvem aspectos econômicos, operacionais, de segurança de tráfego e ainda sócio-ambientais.

Num contexto de sustentabilidade urbana, as ruas pavimentadas representam um valioso patrimônio, cuja conservação e reabilitação são essenciais para garantir diversos objetivos econômicos, sociais e ambientais. Portanto, o foco deste trabalho é a gestão da conservação de pavimentos urbanos, tratando de forma direta a priorização de ruas ou seções candidatas às atividades de manutenção e reabilitação (M&R) dos respectivos pavimentos. As prioridades são definidas com base em um conjunto de critérios que podem ser divididos em critérios técnicos e mensuráveis ou em aspectos relativos a condições subjetivas e dependentes do contexto de cada cidade.

O presente trabalho apresenta o estudo de mapas de priorização baseados em cenários desenvolvidos admitindo-se diferentes opções na agregação dos critérios de decisão para a priorização de ruas ou seções candidatas às atividades de M&R.

No estudo de caso realizado na malha viária da cidade de São Carlos-SP foi adotada uma base de dados georreferenciados, com as características associadas às ruas pavimentadas. Vários cenários são gerados com base em diferentes mapas de prioridades, desenvolvidos através da implementação de um modelo que recorre à Análise Multicritério implementado em um Sistema de Informação Geográfica.

METODOLOGIA DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA PRIORIZAÇÃO DE VIAS URBANAS PAVIMENTADAS

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 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.

Frente a esses propósitos, o estudo desenvolvido abrange os objetivos das duas últimas visões. Deste modo, a metodologia proposta visa definir um índice para as seções e/ou vias pavimentadas que atende a critérios relativos à importância da seção na rede, tanto pela sua localização como pela sua classificação, as condições do pavimento e aos custos associados às estratégias de M&R aplicáveis. Assim, na definição da metodologia para a priorização das seções/vias urbanas pavimentadas admite-se que:



- A prioridade é avaliada segundo um conjunto de objetivos, neste caso, socioeconômicos e técnicos;
- O índice de prioridade é um valor que incorpora diversos atributos relativos às características de cada seção ou via e resulta da combinação desses atributos;
- Os grupos de atributos (critérios que respeitam a objetivos específicos), assim como os atributos individualmente, possuem importâncias diferenciadas (pesos) na definição da prioridade;
- O índice de prioridade resulta da ponderação e agregação dos valores obtidos para os diversos atributos. A agregação resulta da estruturação dos atributos, que neste caso se podem considerar como fatores, segundo o Processo Hierárquico Analítico;
- Cada fator, critério que acentua ou diminui a necessidade de atividades de M&R numa determinada seção ou via urbana pavimentada, deverá ser avaliado segundo uma escala normalizada de forma a permitir a sua agregação com outros fatores pertencentes ao mesmo objetivo específico.

A forma adotada para quantificar a importância dos vários fatores e grupos de fatores, ou seja, o quanto eles influenciam a necessidade de M&R de pavimentos, a respectiva estruturação hierárquica e a forma de agregação são estabelecidas na metodologia desenvolvida recorrendo a técnicas de Avaliação Multicritério (MCDA- *Multicriteria Decision Analysis*). Assim, admite-se que os fatores e grupos de fatores, baseados nos objetivos/propósitos, funcionam como critérios na avaliação da prioridade de intervenções de M&R de pavimentos, ou seja, que possuem importâncias distintas que serão traduzidas em contribuições diferenciadas no cálculo do índice de prioridade.

O processo considera múltiplos critérios organizados em vários níveis, em grupos e subgrupos de critérios. Deste modo, a estrutura de critérios que permite calcular o índice de prioridade está organizada em grupos de critérios que se subdividem em diferentes níveis, em que o nível mais alto deverá ser a meta do problema, o objetivo final do processo de decisão. Como refere Ramos (2000), os níveis são estruturados de modo a que se possa descer de níveis mais abrangentes (grupos de critérios) para níveis mais específicos, terminando em um nível de atributos, isto é, constituído por critérios quantificáveis para cada seção pertencente à rede viária urbana em avaliação.

A quantificação do índice de prioridade (*IP*) de cada seção (*i*) da rede resulta da agregação dos *scores* obtidos para os vários grupos (*Score_g*) em avaliação. Cada *Score_g* resulta da média ponderada dos *scores* de cada grupo (*g*) de fatores, que por sua vez são obtidos pela agregação dos *scores* dos fatores (*Score_f*). Por sua vez, os *Score_f* resultam da agregação dos *scores* normalizados dos atributos, também frequentemente considerados como indicadores (*Score_i*). Assim, a expressão que agrega todos os *scores* normalizados corresponde a uma Combinação Linear Ponderada (WLC - *Weighted Linear Combination* - Voogd, 1983), permitindo aos critérios compensar entre eles as suas qualidades. No entanto, os vários critérios (fatores) em análise podem ser complementares ou equivalentes, e frente a essa situação, faz-se a agregação em grupos de critérios similares. Assim, o *IP* passa a ser avaliado por grupos de critérios (ou grupos de fatores), conforme a Equação 1, onde *Score_g* e *w_g* são respectivamente o *score* normalizado e ponderado e o peso atribuído a cada grupo (*g*) de critérios.

$$IP = \frac{\sum_g Score_g \times w_g}{\sum_g w_g} \quad (1)$$

Os critérios envolvidos são expressos em termos de características da via ou da seção de pavimento. Essas características podem assumir valores numéricos (objetivos) ou lingüísticos (subjetivos), dependendo do tipo de critério que está sendo considerado. Para que os valores dos diferentes critérios possam ser agregados é necessário efetuar a sua normalização. Os critérios contínuos são



normalizados recorrendo-se a funções *fuzzy*, segundo as quais um conjunto de valores expresso numa dada escala é convertido num outro, comparável e expresso numa escala normalizada (por exemplo, de 0 a 1). Por outro lado, alguns critérios com valores lingüísticos subjetivos são normalizados atribuindo-se valores de *scores* de forma arbitrária, dentro da mesma escala adotada para os critérios contínuos. A forma arbitrária de atribuir valores de *scores* dentro de uma determinada escala normalizada não afeta a confiabilidade da análise, sendo que é sempre possível adaptá-la a cada aplicação, atribuindo valores e variáveis diferentes para serem estudados caso a caso. Do mesmo modo, também é possível incorporar diversas formas de funções *fuzzy* ao processo. Para uma melhor compreensão das técnicas associadas à normalização dos *scores* e combinação dos critérios, incluindo uma descrição detalhada das metodologias possíveis, ver Ramos (2000), Mendes (2001) e Lima (2007). Portanto, para aplicar a metodologia é necessário que sejam conhecidos os seguintes dados: a rede viária existente, os critérios de decisão, os pesos a aplicar a cada critério e aos grupos de critérios, as funções de normalização e as informações pertinentes a cada critério.

Aplicação da Metodologia em Ambiente SIG

A metodologia apresentada neste trabalho é passível de ser desenvolvido num Sistema de Informação Geográfica (SIG), em formato vetorial, o que vem potenciar ainda mais a sua utilização, pois permite que para além da priorização das vias seja possível verificar espacialmente a sua distribuição na rede. Sendo a metodologia de fácil integração em ambiente SIG, após a digitalização dos dados espaciais relativos à rede viária em estudo e a organização dos dados alfanuméricos em tabelas, é possível recorrer à análise de redes e de mapas para obter o índice de prioridades em questão.

Fazendo-se uso de mapas que contenham a rede e os atributos vinculados a cada seção de pavimento da rede, o primeiro passo consiste em identificar as formas de medidas referentes a cada fator e, a seguir, proceder com a normalização dessas medidas, obtendo-se os *scores* dos fatores. Através da aplicação dos pesos de cada fator aos *scores* obtidos, resultam os respectivos *scores* normalizados e ponderados. Em seguida, os *scores* normalizados são agrupados, obtendo-se, então, os índices de prioridade para cada grupo de fatores. Finalmente, através de um novo agrupamento, determina-se o índice de prioridade global.

Critérios de Decisão e Importância Relativa

A definição das prioridades de conservação deve ser realizada considerando todos os fatores 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, 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 (Pereira e Miranda, 1999).

As informações utilizadas neste trabalho têm por base os resultados da pesquisa desenvolvida em 2005, por Lima (2007), que estabeleceu uma lista de critérios efetivamente relevantes baseada em questionários e opinião de especialistas e profissionais responsáveis por obras e serviços relacionados com os pavimentos urbanos. Estes critérios foram avaliados estabelecendo-se seu grau de importância diante do objetivo proposto, através do método de comparação par a par proposto no Processo Analítico Hierárquico, do inglês *Analytic Hierarchy Process* – AHP (Saaty, 1980). Depois de determinar o peso de cada critério, o processo AHP permite calcular o Grau de Consistência (*CR- Consistency Ratio*) dos julgamentos efetuados, o que garante um elevado nível de



confiabilidade no conjunto de pesos resultantes da aplicação. Para mais detalhes sobre o método de comparação par a par de critérios, ver Lima *et al.* (2006), Lima (2007) e Ramos (2000). Na Tabela 1 são apresentados os critérios e os respectivos pesos atribuídos pelos avaliadores, 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.

Tabela 1: Critérios relevantes para a priorização de pavimentos e os respectivos pesos, códigos e agrupamentos

Código	Fatores e Grupos de Fatores	Pesos	Código	Fatores e Grupos de Fatores	Pesos
A	Fatores associados à hierarquia viária	0,223	C	Fatores associados à localização das seções de pavimento	0,128
A1	Classe funcional	0,286	C1	Proxim. a infra-estruturas de Transportes	0,425
A2	Tipo de rota	0,214	C1.1	Proximidade a terminal rodoviário	0,346
A3	Volume de tráfego	0,5	C1.2	Proximidade a terminal ferroviário	0,149
B	Fatores associados às questões técnicas e operacionais	0,378	C1.3	Proximidade a portos e aeroportos	0,205
B1	Necessidade técnica por intervenção	0,343	C1.4	Proximidade a rodovias	0,3
B1.1	Índice combinado de defeitos	0,47	C2	Proximidade a equipamentos públicos	0,304
B1.1.1	Trincas por Fadiga	0,134	C2.1	Proximidade a escolas primárias e secundárias	0,1
B1.1.2	Trincas em Blocos	0,036	C2.2	Proximidade a universidades	0,113
B1.1.3	Defeito nos Bordos	0,031	C2.3	Proximidade a postos de saúde	0,183
B1.1.4	Trincas Longitudinais	0,04	C2.4	Proximidade a hospitais	0,237
B1.1.5	Trincas por Reflexão	0,053	C2.5	Proximidade a centros administrativos	0,082
B1.1.6	Trincas Transversais	0,044	C2.6	Proximidade a corporação de bombeiros	0,185
B1.1.7	Remendos	0,049	C2.7	Proximidade a instalações militares	0,099
B1.1.8	Panelas	0,211	C3	Preferências pessoais ou administrativas	0,271
B1.1.9	Deformação Permanente	0,146	C3.1	Proximidade a centros comerciais	0,334
B1.1.10	Corrugação	0,049	C3.2	Proxim. a bairros particular qualidade de vida	0,141
B1.1.11	Exudação	0,027	C3.3	Proximidade a áreas de lazer e esportes	0,11
B1.1.12	Agregados Polidos	0,023	C3.4	Proximidade a áreas turísticas	0,234
B1.1.13	Desgaste	0,059	C3.5	Proximidade a áreas industriais	0,181
B1.1.14	Desnível	0,048	D	Fatores associados aos custos	0,271
B1.1.15	Bombeamento	0,05	D1	Custos dos Usuários	0,508
B1.2	Índice da condição do pavimento	0,328	D1.1	Custo de operação de veículos	0,246
B1.3	Idade do pavimento	0,202	D1.2	Custo do tempo de viagem	0,183
B2	Questões Ambientais	0,128	D1.3	Custo de acidentes	0,571
B3	Questões de Segurança	0,529	D2	Custos da Administração	0,492

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. A metodologia foi desenvolvida com base numa estrutura hierárquica de decisão, conforme a Figura 1 e os códigos da Tabela1. O processo considera múltiplos critérios organizados em vários níveis, em grupos e subgrupos de critérios.

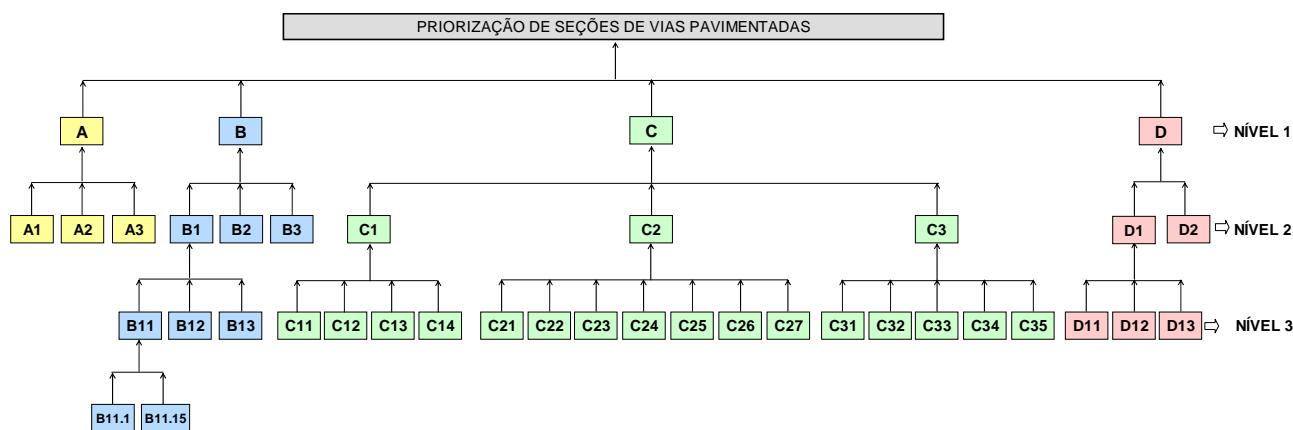


Figura 1: Estrutura hierárquica do modelo de priorização de seções de vias pavimentadas



Nesse tipo de estrutura, na qual o problema é dividido em grupos de critérios e subdividido em outros, de níveis inferiores, o nível mais alto deverá ser a meta do problema, o objetivo final do processo de decisão. Os níveis inferiores devem ser estruturados de modo que se possa descer de níveis mais abrangentes para níveis mais específicos, terminando em um nível de atributos, isto é, critérios quantificáveis ou de fácil avaliação.

APLICAÇÃO À REDE VIÁRIA URBANA DE SÃO CARLOS - SP

A metodologia apresentada foi aplicada à 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. A plataforma SIG adotada foi o ArcView, utilizando o formato vetorial do software, dentro do qual agrega-se a metodologia de avaliação multicritério e foram desenvolvidas todas as etapas necessárias à sua implementação. Foi necessário para a realização desta aplicação, organizar e vincular toda a informação coletada aos mapas georeferenciados de modo consistente, dentro da plataforma SIG, como por exemplo, os resultados de um levantamento de campo das vias urbanas de São Carlos, contendo informações de inventário e avaliação do pavimento (Lima *et al.*, 2004).

Modificando a estrutura hierárquica

Não existem regras para a forma de estruturar as hierarquias nem para definir o número de níveis a criar, o que permite ao decisor inserir ou eliminar elementos e níveis da forma que julgue necessário para clarificar as suas prioridades ou para evidenciar algumas partes do processo de decisão (Saaty, 1980). Retirar ou acrescentar algum critério de decisão implica em modificar toda a estrutura hierárquica e o processo de tomada de decisão. A modificação de algum critério pode causar o adiantamento ou o atraso das necessidades por intervenções anuais. Alterar um critério pode também afetar a lista de ações viáveis de reabilitação. (Haas *et al.*, 1994). Os critérios de decisão têm influência direta nas alternativas que são geradas pelo sistema. Estas alternativas são selecionadas de acordo com o objetivo inicialmente proposto para se chegar a uma decisão final.

Com a avaliação do grau de importância dos critérios, através do método de comparação par a par proposto no Processo Analítico Hierárquico (Lima, 2007) observou-se que alguns critérios possuíam graus de importâncias que se sobressaíam sobre os outros. É o caso da avaliação da importância relativa dos fatores associados às “Questões Técnicas e Operacionais” (Grupo B), apresentada na Tabela 1, realizada pelos especialistas. Nesse caso em especial, o fator “Questões de Segurança” (B3) foi considerado o mais relevante (peso igual a 0,529, numa escala de 0,0 a 1,0) quando comparado com os fatores “Necessidade Técnica por Intervenção” (B1 - peso igual a 0,343), um dos critérios mais utilizados nos modelos de priorização existentes, pois envolve medidas da condição do pavimento e “Questões Ambientais” (B2 - peso igual a 0,127). Isto se deve ao fato da Segurança, para este modelo, ser caracterizada pelos índices de acidentes registrados num determinado período de análise e pela presença ou não de dispositivos de drenagem nas vias urbanas. O avaliador considera que manter a integridade do usuário, reduzindo os índices de acidentes, é o mais importante.

Apesar da grande importância dada ao critério segurança, este não foi utilizado na primeira fase de avaliação, por falta de dados confiáveis. Entretanto, um estudo desenvolvido recentemente por Santos (2006), possibilitou a estruturação de um banco de dados sobre os índices de acidentes de trânsito no município de São Carlos. Em uma segunda fase de avaliação abordada neste trabalho, estas informações foram, então, utilizadas, depois de passar por um processo de filtragem. Nesta segunda fase o critério “Questões de segurança (B3)” foi inserido no processo de decisão para o estudo comparativo apresentado. Este critério, por possuir um alto valor da importância relativa atribuída pelos avaliadores, modifica os cenários de avaliação, contribuindo para aperfeiçoar o processo decisório.



Este trabalho tem como principal objetivo a comparação entre cenários (ou mapas) de avaliação, uma vez que se acrescenta um critério no processo decisório. Para tal foram geradas duas estruturas hierárquicas distintas, que buscam alcançar o mesmo objetivo, utilizando-se informações da rede de vias urbanas de São Carlos - SP. Portanto, o trabalho foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa, não foram considerados os seguintes critérios:

- 3º Nível - Idade desde a última intervenção (B13), Proximidade a Portos e Aeroportos (C13);
- 2º Nível - Questões Ambientais (B2), Questões de Segurança (B3), Custos dos Usuários (D1).

Na segunda etapa, os atributos relacionados às Questões de Segurança (critério B3) do 2º Nível da estrutura hierárquica, em que na etapa anterior não havia sido considerado, foram adicionados ao processo decisório. Portanto, tendo como base do modelo de decisão a estrutura apresentada na Figura 1 e Tabela 1, as estruturas hierárquicas foram reformuladas para as Etapas 1 e 2 deste trabalho, conforme apresentadas nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

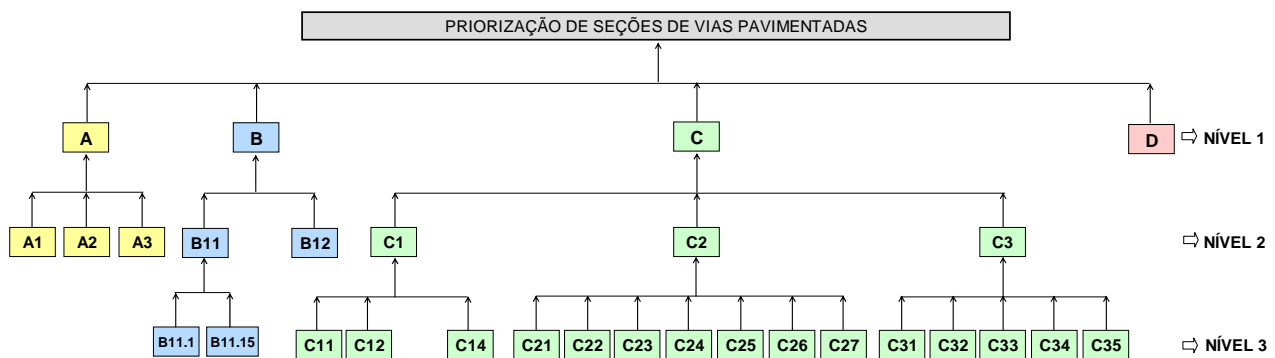


Figura 2: Estrutura hierárquica do modelo de priorização – Etapa 1 do estudo de caso

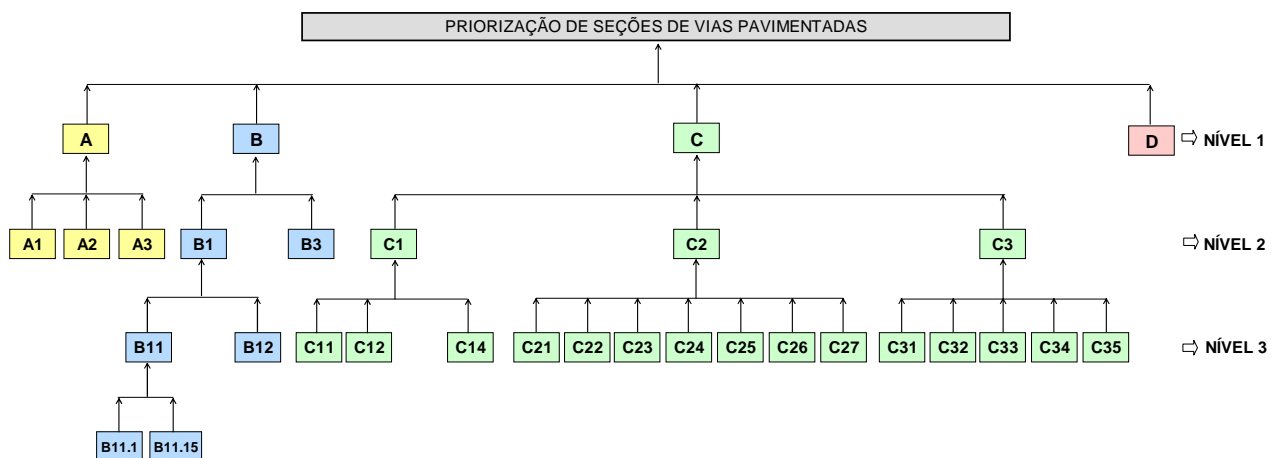


Figura 3: Estrutura hierárquica do modelo de priorização – Etapa 2 do estudo de caso

Modificar a estrutura hierárquica implica em gerar novos cenários de avaliação onde critérios de relevância participam ou não do processo decisório. Em ambas as etapas os pesos foram remodelados com base nos graus de importância atribuídos pelos avaliadores para os fatores em questão, sempre levando em conta o grau de consistência da avaliação.



ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO

A implementação em SIG seguiu as estruturas apresentadas nas Figuras 2 e 3, em que para cada nível de cada estrutura foram gerados os mapas resultantes da agregação dos critérios de ordem inferior, permitindo assim visualizar para toda a rede a informação por nível e o Índice de Prioridade Global.

Através da implementação da metodologia obtiveram-se os mapas dos vários critérios do nível 3 e do nível 2, procedendo-se em seguida à sua normalização. Seguindo as etapas de um processo de avaliação multicritério, primeiramente com a definição da importância relativa dos critérios através de pesos e depois com a normalização dos critérios através de funções *fuzzy*, a próxima etapa é a combinação dos critérios. Para a aplicação prática dada neste trabalho realizaram-se combinações WLC (*Weighted Linear Combination*) de acordo com cada nível e agrupamento da estrutura, gerando, portanto, mapas alternativos de prioridades de M&R de pavimentos. (Lima, 2007).

Considerando as duas formas de agregação dos critérios e grupos de critérios mostradas nas Figuras 2 e 3, a combinação dos atributos (nível 3) dos Grupos A, C e D, traz resultados iguais para ambas as estruturas ou etapas. Porém, a combinação de atributos do Grupo B traz resultados diferentes em relação às etapas 1 e 2. Nas Figuras 4, 5 e 6 são apresentados, respectivamente, os mapas gerados dos grupos A – Hierarquia Viária, C - Localização e D – Custos das estratégias de M&R do nível 1 das estruturas hierárquicas de decisão (Etapas 1 e 2 do trabalho).

Pode-se observar que o índice de prioridade é um valor dentro de uma escala de 0,0 a 1,0, na qual o valor 0,0 (cor verde) indica prioridade nula e o valor 1,0 (cor vermelha), por sua vez, indica prioridade máxima.

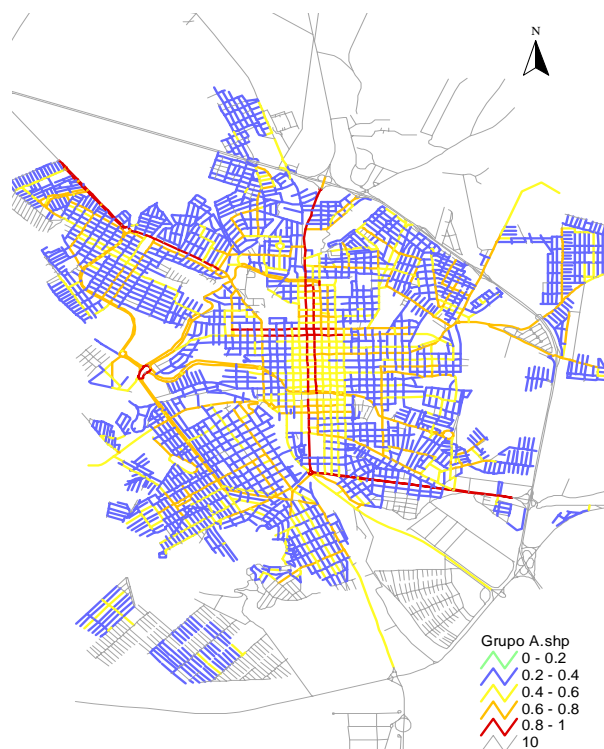


Figura 4: Índices de Prioridades do Grupo A: Hierarquia Viária

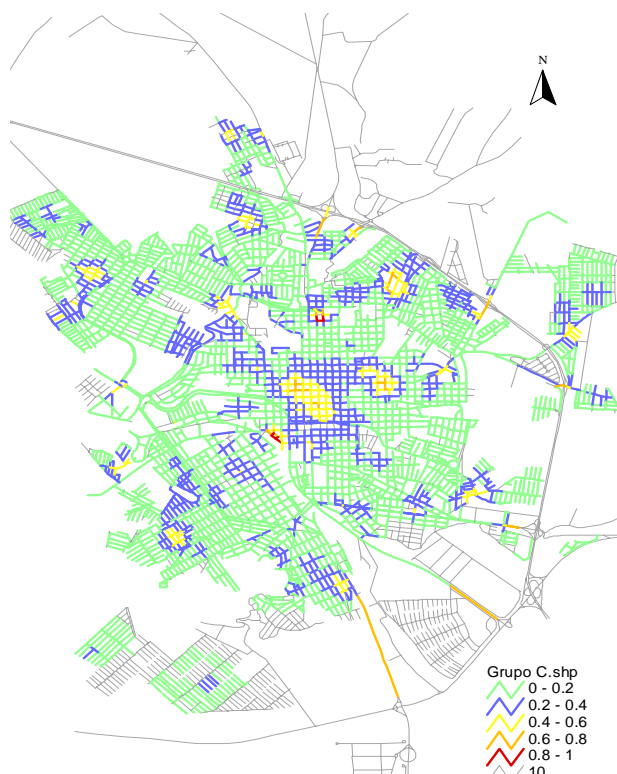


Figura 5: Índices de Prioridades dos Grupos C: Custos

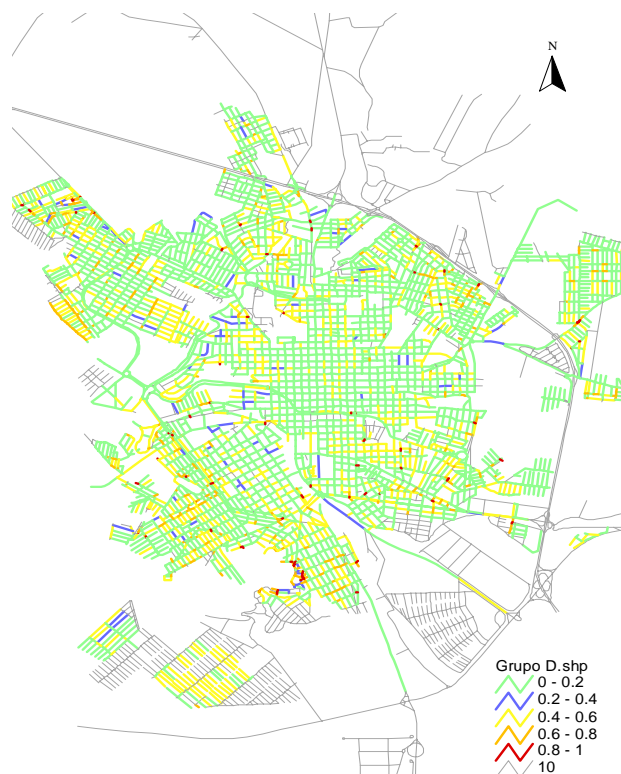


Figura 6: Índices de Prioridades dos Grupos D:
Localização

A combinação de atributos do Grupo B (Questões Técnicas e Operacionais) foi realizada na etapa 1 agregando os fatores de Índice Combinado de Defeitos (B11) e Índice da Condição do Pavimento (B12), sendo que o primeiro corresponde a avaliação objetiva e o segundo avaliação subjetiva do pavimento (Lima *et al.*, 2004). Na etapa 2 foram combinados os fatores de “Necessidade Técnica por Intervenção” - B1 (com os atributos de B11 e B12) e “Questões de Segurança” - B3. Em todas as combinações de critérios foram utilizados os pesos atribuídos pelos especialistas, reformulados para o estudo de caso, conforme comentado anteriormente. Portanto, os mapas temáticos de prioridades referentes ao grupo B, Etapa 1 e 2 (ver Figuras 2 e 3), são apresentados nas Figuras 7a e 7b, respectivamente. O mapa gerado na Etapa 1 é chamado de Bi e o mapa gerado na Etapa 2 é chamado de Bii.

Cada uma das etapas é desenvolvida separadamente, portanto, geram mapas finais de prioridades distintos. Cada um dos mapas corresponde a um cenário de avaliação no qual o tomador de decisão poderá optar pelo cenário que trará melhores benefícios. Neste trabalho, os dois mapas finais gerados diferem devido à presença ou não do critério Segurança, influenciando na combinação de critérios do grupo B.

Pode-se observar que o cenário Bii apresentou um maior número de *scores* entre 0,4 e 0,6 do que o cenário Bi, pois são seções que possuem carência de drenagem ou com histórico de acidentes, influenciando no resultado do cenário de avaliação para o grupo de critérios relacionado com as questões técnicas e operacionais.

Os atributos dos mapas ou cenários dos grupos A, Bi, C e D (Figuras 4, 7a, 5 e 6) são combinados na Etapa 1, gerando o mapa final de priorização Fi apresentado na Figura 8a. Por sua vez, os atributos dos mapas dos grupos A, Bii, C e D (Figuras 4, 7b, 5 e 6) são combinados na Etapa 2, gerando um novo mapa final de priorização de vias urbanas pavimentadas Fii, apresentado na Figura 8b.

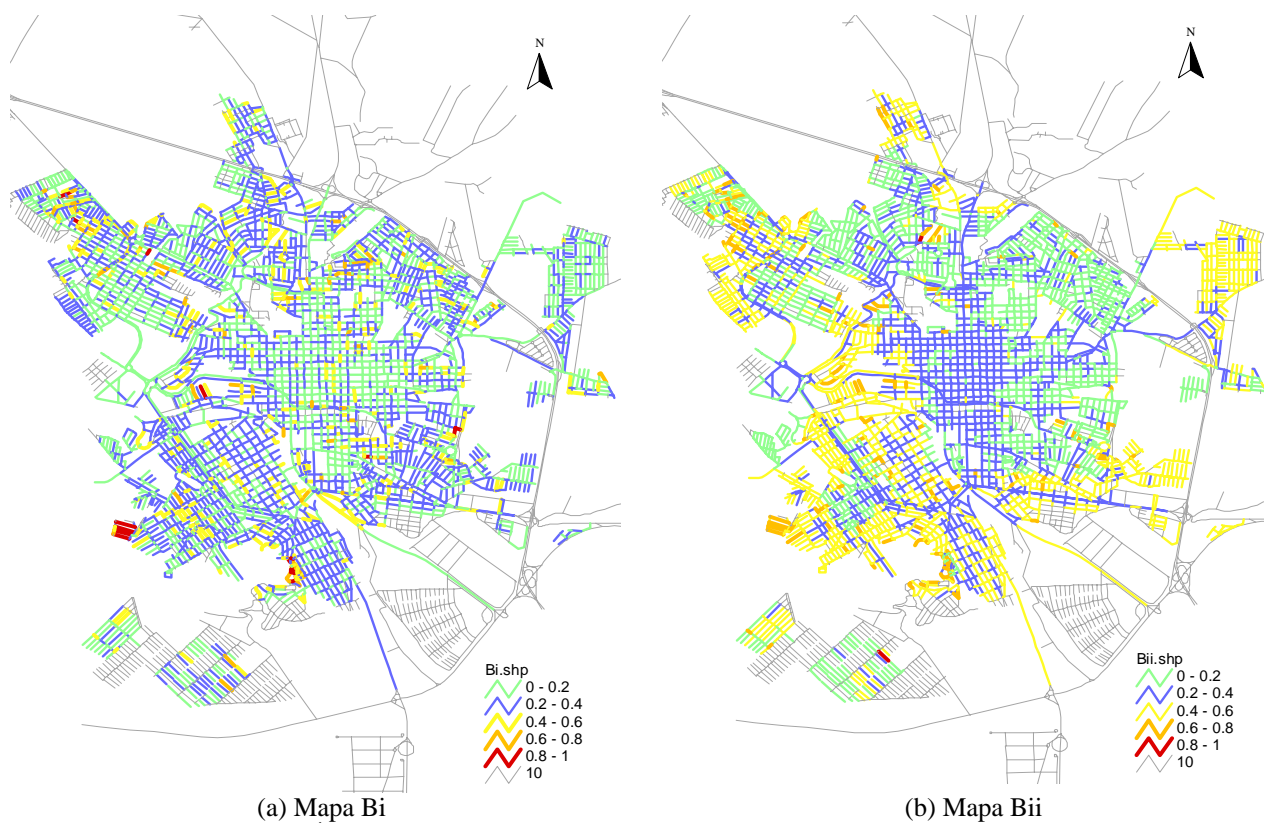


Figura 7: Índices de Prioridades do Grupo B, gerados nas Etapas 1 e 2 de avaliação



Figura 8: Mapas Finais de Priorização de vias urbanas pavimentadas

Os cenários finais de priorização de seções de vias urbanas pavimentadas (Mapas Fi e Fii) representam a combinação de critérios, desde o nível mais baixo até o mais alto da estrutura



hierárquica de decisão, atingindo, assim, o objetivo final. Novamente é perceptível a influência dos fatores associados às questões técnicas e operacionais, uma vez que o critério Segurança (B3) possuidor de relevante importância, foi inserido no nível 2 do processo, gerando o mapa Bii no nível 1 e finalmente o cenário Fii. Enquanto que o mapa final Fi apresentou 37% de *scores* maiores que 0,4 (seções amarela, laranja e vermelha), o cenário final Fii apresentou 45%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram gerados mapas temáticos desde o nível mais baixo até o mais elevado da estrutura hierárquica. Os grupos de critérios foram combinados considerando a importância relativa de cada grupo, originando cenários finais de decisão. No mais baixo nível de análise, a agregação de critérios permite a averiguação ampla das características da rede, que pode ser útil em outros contextos de estudos. Qualquer etapa ou nível da estrutura hierárquica pode ser analisada isoladamente. A metodologia mostrou-se eficiente em várias etapas do processo, destacando-se a flexibilidade devido à possibilidade de modificar a estrutura hierárquica que foi desenvolvida, no instante que se pretende retirar ou adicionar algum critério de decisão, como pôde ser verificada no trabalho. 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 e assim condicionar o modelo. Do ponto de vista instrumental a metodologia apresentada mostra-se interessante pelo fato de considerar de forma simples os conceitos de priorização de vias e ainda integrá-lo numa ferramenta poderosa de análise espacial. 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. Pelo estudo de caso apresentado a aplicabilidade da metodologia ficou demonstrada, quer na perspectiva da sua operacionalidade quer na perspectiva da sua utilidade.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Lima, J. P. (2007). *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. (2006). *A Prática de Gestão de Pavimentos em Cidades Médias Brasileiras*. In: 2º Congresso Luso Brasileiro. Braga - Portugal. Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável - II PLURIS. Braga - PT: Universidade do Minho, 2006.
- Lima, J.P.; Lopes, S.B.; Zanchetta, F.; Anelli, R.L.S., Fernandes Jr, J.L. (2004). O Uso de SIG em gerência de Infra-estrutura Urbana de Transportes: Estudo de Caso em São Carlos - SP. In: *Contribuições para o Desenvolvimento Sustentável em Cidades Portuguesas e Brasileiras*. ed.Coimbra, Portugal: Almedina, 2004, v.1, p. 146-159.
- Mendes, J. F. G (2001) Multicriteria accessibility evaluation using GIS as applied to Industrial Location in Portugal. *Earth Observation Magazine*, v. 10, n. 2, p. 31-35.
- Pereira, P.; Miranda, V. (1999). *Gestão da conservação dos pavimentos rodoviários*. Braga, Portugal.
- Ramos, R. A. R. (2000). *Localização industrial – um modelo espacial para o noroeste de Portugal*. Tese (Doutorado). Universidade do Minho. Braga, Portugal.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York. McGraw Hill.
- Santos, L. (2006). *Análise dos Acidentes de Trânsito no Município de São Carlos Utilizando SIG e Ferramentas de Análise Espacial*. Dissertação (Mestrado). UFSCAR - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP.
- Voogd, H. (1983). *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. London: Pion Ltd.